

VICENTE MAZZOLLA MORAIS

# **METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SERVIÇOS DIGITAIS EM UMA REDE HFC EXISTENTE**

**Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre, no Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Telecomunicações, Setor de  
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Horácio Tertuliano Filho, Ph.D.**

**CURITIBA**

**2006**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

VICENTE MAZZOLLA MORAIS

### **METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SERVIÇOS DIGITAIS EM UMA REDE HFC EXISTENTE**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Aprovada por:

---

Prof. Horácio Tertuliano Filho, Ph.D, PPGEE – UFPR (orientador)

---

Prof. João César Moura Motta, Ph.D, UFC (examinador externo)

---

Prof. César Augusto Dartora, Ph.D, PPGEE – UFPR (examinador interno)

---

Prof. Marcus Vinícius Lamar, Ph.D, PPGEE – UFPR (examinador interno)

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

MORAIS, Vicente Mazzolla

Metodologia para Implantação de Serviços Digitais em uma Rede HFC Existente / Vicente Mazzolla Moraes. Curitiba: UFPR / Setor de Tecnologia / Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

xxii, 163 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia / Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

1. Redes HFC. 2. Parâmetros técnicos da Rede HFC. 3. Metodologia operacional da rede HFC. 5. Transmissão digital – Tese.I.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. II. Título.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

MORAIS, V. M. (2006). Metodologia para Implantação de Serviços Digitais em uma Rede HFC Existente. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 163 p.

## **DEDICATÓRIA**

à minha querida esposa Fátima, meu filho Matheus e meu irmão Wladimir

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos funcionários e ao professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, em especial ao amigo e professor Horácio Tertuliano dos Santos Filho.

## RESUMO

As redes de televisão via cabo estão emergindo como uma importante infraestrutura para disponibilizar conteúdos interativos e acessos em alta velocidade em banda larga à rede mundial de computadores. Neste contexto, as redes *HFC (Hybrid Fiber-Coax)* são cada vez mais exigidas nos aspectos de qualidade no transporte de sinais digitais e deixam de ser apenas redes de transportes de canais de televisão analógica, devido a disponibilidade de banda de transmissão e a capilaridade na sua área de cobertura.

Este trabalho abordará o desenvolvimento de uma metodologia de trabalhos técnicos que deverão ter como resultados finais a vantagem de melhorar o desempenho da infra-estrutura existente, e em assim sendo, poder disponibilizar o maior conteúdo de programação e o maior número de serviços, conseqüentemente maior interatividade aos seus clientes, com o melhor aproveitamento possível do espectro de frequência. Será apresentado, primeiramente, um estudo sistêmico destacando os conceitos básicos da rede *HFC*, a padronização do sistema de *cable modem* e do sistema de televisão digital. Em seguida, serão apresentados os cálculos necessários, destacando os parâmetros de qualidade da rede *HFC* para o plano de canalização analógica e plano de canalização para o transporte de vídeo e dados digitais. Posteriormente, será apresentada uma metodologia de procedimentos técnicos operacionais que deverá ser seguida para extrair o melhor desempenho da rede existente e poder, dessa forma, assegurar a qualidade dos serviços prestados pela operadora. Finalmente, uma discussão sobre os resultados aplicados em campo como forma de validação das metodologias desenvolvidas, com o estudo de caso de uma área de interesse o qual servirá como base para implementações futuras.

*Palavras-chave:* redes HFC, interatividade, acesso banda-larga, metodologia.

## ABSTRACT

*The television nets through cable are emerging as an important infrastructure to make available interactive contents and accesses in high-speed in broadband the world net of computers. In this context, the nets HFC (Hybrid Fiber-Coax) they are demanded more and more in the quality aspects in the transport of digital signs and they stop being just nets of transports of channels of analogical television, due to readiness of transmission band and the capillarity in covering area.*

*This work will approach the development of a methodology of technical works that should have as final results the advantage of improving the acting of the existent infrastructure, and in like this being, to make available the largest programming content and the largest number of services, consequently larger interactive to their customers, with the best possible use of the frequency spectrum. It will be presented, firstly, a systemic study detaching the basic concepts of the net HFC, the standardization of the system of cable modem and of the system of digital television. Soon afterwards, the necessary calculations will be presented, detaching the parameters of quality of the net HFC for the plan of analogical canalization and canalization plan for the video transport and digital data. Later it will be presented a methodology of operational technical procedures that it should be followed to extract the best income from the existent net and to can in that way to assure the quality of the services rendered by the operator. Finally, a discussion on the applied results in field as form of validation of the developed methodologies, with the study of case of an area of interest which will serve as base for future implementations.*

*Keywords: HFC networks, interactive, broadband access, methodology.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ACRONISMOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: CONCEITOS BÁSICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 REDE HFC.....</b>	<b>5</b>
1.2.1 INTRODUÇÃO .....	5
1.2.2 ARQUITETURA BASE .....	6
1.2.3 TOPOLOGIA DAS REDES HFC .....	8
1.2.4 ARQUITETURA CELULAR DAS REDES HFC .....	11
1.2.5 ALOCAÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIA .....	13
1.2.5.1 BANDA DE DESCIDA.....	13
1.2.5.2 BANDA DE RETORNO .....	14
<b>1.3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS SOBRE REDES HFC .....</b>	<b>15</b>
1.3.1 INTRODUÇÃO .....	15
1.3.2 PADRONIZAÇÃO DOCSIS SOBRE REDES HFC.....	16
1.3.2.1 CAMADA FÍSICA .....	19
1.3.2.2 CAMADA DE ENLACE.....	22
1.3.2.2.1 PROTOCOLO MAC .....	23



1.3.3	TECNOLOGIA CABLE MODEM.....	25
1.3.4	TERMINAÇÃO DO SISTEMA DE CABLE MODEM.....	29
<b>1.4</b>	<b>SISTEMA DE TELEVISÃO DIGITAL SOBRE REDES HFC .....</b>	<b>30</b>
1.4.1	INTRODUÇÃO.....	30
1.4.2	PADRONIZAÇÃO DVB SOBRE REDES HFC .....	31
1.4.3	CARACTERÍSTICAS DA MODULAÇÃO NO PADRÃO DVB-C .....	33
<b>1.5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>1.6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO 2: CÁLCULO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DE QUALIDADE DA REDE HFC ...</b>		<b>36</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>37</b>
2.2.1	RUÍDO TÉRMICO .....	37
2.2.2	DISTORÇÕES NÃO LINEARES .....	38
2.2.2.1	RELAÇÕES GERAIS DAS DISTORÇÕES .....	39
2.2.3	REFLEXÕES E ATRASO DE GRUPO.....	42
<b>2.3</b>	<b>CÁLCULO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DA REDE HFC .....</b>	<b>47</b>
2.3.1	ENLACE ÓPTICO DA REDE HFC .....	48
2.3.1.1	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO TRANSMISSOR ÓPTICO.....	48
2.3.1.2	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO AMPLIFICADOR ÓPTICO.....	49
2.3.1.3	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO RECEPTOR ÓPTICO .....	49
2.3.1.4	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO ENLACE ÓPTICO.....	52
2.3.1.5	ÍNDICE DE MODULAÇÃO ÓPTICA .....	52
2.3.2	ENLACE COAXIAL DA REDE HFC.....	56
2.3.2.1	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO NA BANDA DE DESCIDA .....	57
2.3.2.2	RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO NA BANDA DE RETORNO.....	59

2.3.2.3	RELAÇÃO PORTADORA-DISTORÇÃO DE 2ª ORDEM COMPOSTA .....	61
2.3.2.4	RELAÇÃO PORTADORA-BATIMENTO COMPOSTO DE 3ª ORDEM .....	63
2.3.2.5	RELAÇÃO PORTADORA-MODULAÇÃO CRUZADA .....	64
2.3.2.6	RADIÇÃO DO SINAL DAS REDES HFC.....	66
2.3.3	CANAIS DIGITAIS .....	69
2.3.3.1	TAXA DE ERRO DE BITS (BER) .....	69
2.3.3.2	RELAÇÃO DO ERRO DE MODULAÇÃO (MER).....	72
<b>2.4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>2.5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 3: DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>		<b>78</b>
<b>3.1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>3.2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE CÁLCULO DA REDE HFC.....</b>	<b>79</b>
<b>3.3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA.....</b>	<b>81</b>
3.3.1	1ª ETAPA: DETECÇÃO DO NÍVEL DE INGRESSO DO SINAL .....	81
3.3.2	2ª ETAPA: DETECÇÃO DO NÍVEL DE RADIAÇÃO DO SINAL.....	87
3.3.3	3ª ETAPA: ALINHAMENTO DA BANDA DE DESCIDA .....	89
3.3.4	4ª ETAPA: ALINHAMENTO DA BANDA DE RETORNO .....	94
3.3.5	5ª ETAPA: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA BANDA DE DESCIDA .....	96
3.3.6	6ª ETAPA: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA BANDA DE RETORNO .....	100
3.3.7	7ª ETAPA: MEDIDAS DE CONFORMIDADE DOS CANAIS DIGITAIS.....	102
3.3.7.1	CONSTELAÇÃO DO CANAL DIGITAL .....	102
3.3.7.2	INGRESSO DE RUÍDO NO CANAL DIGITAL .....	105
3.3.7.3	ESTRESSE DE EQUALIZAÇÃO DO CANAL DIGITAL .....	107
3.3.7.4	RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO CANAL DIGITAL.....	109
<b>3.4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>110</b>

<b>3.5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
	<b>CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>112</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>112</b>
<b>4.2</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....</b>	<b>112</b>
<b>4.3</b>	<b>VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>	<b>116</b>
4.3.1	DETECÇÃO DO NÍVEL DE RADIAÇÃO DOS SINAIS.....	117
4.3.2	ESTUDO DE CASO DO RAMO I.....	118
4.3.2.1	RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS ANALÓGICOS.....	118
4.3.2.2	RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS DIGITAIS .....	124
4.3.3	ESTUDO DE CASO DO RAMO II .....	128
4.3.3.1	RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS ANALÓGICOS.....	128
4.3.3.2	RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS DIGITAIS .....	134
<b>4.4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>137</b>
	<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES.....</b>	<b>139</b>
	<b>PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>140</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>146</b>
	<b>APÊNDICE II .....</b>	<b>159</b>
	<b>APÊNDICE III.....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE ACRONISMOS

<b><u>Sigla</u></b>	<b><u>Definição</u></b>	<b><u>Significado</u></b>
<b>AWGN</b>	<i>Additive White Gaussian Noise</i>	Ruído Branco
<b>BCS</b>	<i>Broadband Cable Simulator</i>	Simulador de Cabo Coaxial
<b>BER</b>	<i>Bit Error Rate</i>	Taxa de Erro de Bit
<b>BPI+</b>	<i>Baseline Privacy Interface Plus</i>	Interface Básica de Privacidade
<b>BW</b>	<i>Bandwidth</i>	Largura de Banda
<b>CAS</b>	<i>Conditional Access System</i>	Sistema de Acesso Condicional
<b>CATV</b>	<i>Cable Television</i>	Televisão a Cabo
<b>CLI</b>	<i>Cumulative Leakage Index</i>	Índice Cumulativo de Vazamento do Sinal na Rede de Televisão a Cabo
<b>CM</b>	<i>Cable Modem</i>	Modem a Cabo
<b>CMTS</b>	<i>Cable Modem Termination System</i>	Terminação do Sistema de Modem a Cabo
<b>CNR</b>	<i>Carrier to Noise Ratio</i>	Relação Portadora-Ruído
<b>CSO</b>	<i>Composite Second Order</i>	Distorção de Segunda Ordem Composta
<b>CTB</b>	<i>Composite Triple Beat</i>	Batimento Composto de Terceira Ordem
<b>DC</b>	<i>Direct Current</i>	Corrente Contínua
<b>DES</b>	<i>Data Encryption Standard</i>	Padrão de Encriptação de Dados
<b>DFB</b>	<i>Distributed Feedback</i>	Transmissor Laser do tipo DFB
<b>DOCSIS</b>	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>	Especificação de Interface do Sistema de Dados sobre Cabos
<b>DS</b>	<i>Downstream</i>	Canal de Descida
<b>DVB</b>	<i>Digital Video Broadcasting</i>	Distribuição de Vídeo Digital por Radiodifusão
<b>DVB-C</b>	<i>Digital Video Broadcasting for Cable Systems</i>	Distribuição de Vídeo Digital pelo Sistema de TV a Cabo
<b>EDFA</b>	<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>	Amplificador Óptico com Dopagem a Érbio
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações

<b>EVM</b>	<i>Error Vector Magnitude</i>	Magnitude de Vetor de Erro
<b>FBB</b>	<i>Backbone Fiber</i>	Estrutura Vertical atendida por Fibra
<b>FCC</b>	<i>Federal Communications Commission</i>	Comissão Federal de Comunicações
<b>FDM</b>	<i>Frequency Division Multiplex</i>	Multiplexação por Divisão em Frequência
<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction</i>	Correção de Erro de Encaminhamento
<b>FIFO</b>	<i>First In First Out</i>	Primeiro a Entrar é o Primeiro a Sair
<b>FP</b>	<i>Fabry-Perot</i>	Transmissor Laser do tipo FP
<b>FTF</b>	<i>Fiber to the Feeder</i>	Ativos de Distribuição atendidos por Fibra
<b>FTLA</b>	<i>Fiber to the Last Active</i>	Último Ativo atendido por Fibra
<b>FTSA</b>	<i>Fiber to the Service Area</i>	Atendimento de uma determinada Área de Serviço por Fibra
<b>FTTC</b>	<i>Fiber to the Curb</i>	Fibra até a entrada do Assinante
<b>GDV</b>	<i>Group Delay Variation</i>	Variação do Atraso de Grupo
<b>HFC</b>	<i>Hybrid Fiber-Coax</i>	Híbrido Fibra-Coaxial
<b>HP</b>	<i>Home Passed</i>	Domicílios Atendidos
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet
<b>IRD</b>	<i>Integrated Receiver Decoder</i>	Receptor e Decodificador Integrado
<b>ITU</b>	<i>International Telecommunication Union</i>	União Internacional das Telecomunicações
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i>	Rede Local
<b>LSB</b>	<i>Least Significant Bit</i>	Bit menos Significativo
<b>MAC</b>	<i>Media Access Control</i>	Controle de Acesso de Mídia
<b>MAP</b>	<i>Upstream Allocation Map</i>	Mapa de Alocação do Canal de Subida
<b>MCNS</b>	<i>Multimedia Cable Network System</i>	Sistema Multimídia de Rede a Cabo
<b>MER</b>	<i>Modulation Error Ratio</i>	Relação do Erro de Modulação
<b>MPEG-2</b>	<i>Moving Picture Experts Group 2</i>	Grupo Especialista em Figuras em Movimento
<b>MSB</b>	<i>Most Significant Bit</i>	Bit mais Significativo
<b>MUX</b>	<i>Multiplexer</i>	Multiplexador

<b>NF</b>	<i>Noise Figure</i>	Figura de Ruído
<b>OMI</b>	<i>Optical Modulation Index</i>	Índice de Modulação Óptica
<b>OSI</b>	<i>Open Systems Interconnection</i>	Sistema Aberto de Interconexão
<b>OSS</b>	<i>Operation Support System</i>	Sistema de Suporte a Operação
<b>PAD</b>	<i>Power Attenuator Device</i>	Dispositivo para Atenuar a Potência do Sinal de <i>RF</i>
<b>PAL-M</b>	<i>Phase Alternation by Line</i>	Alteração da Fase por Linha
<b>PCI</b>	<i>Peripheral Component Interconnect</i>	Padrão de Interconexão de Componentes Periféricos
<b>PRBS</b>	<i>Pseudo Random Binary Sequence</i>	Seqüência Binária Pseudo-Aleatória
<b>PV</b>	<i>Peak to Valley Deviation</i>	Relação de Planicidade do Sinal
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	Modulação de Amplitude por Quadratura
<b>QPSK</b>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>	Chaveamento de Fase por Quadratura
<b>RBW</b>	<i>Resolution Filter Bandwidth</i>	Resolução do Filtro de Largura de Banda
<b>RF</b>	<i>Radio Frequency</i>	Rádio Frequência
<b>RIN</b>	<i>Relative Intensity Noise</i>	Ruído de Intensidade Relativa
<b>RMS</b>	<i>Root Mean Squared</i>	Raiz Média Quadrática - Valor Eficaz
<b>SLM</b>	<i>Signal Level Meter</i>	Medidor de Nível de Sinal
<b>SNR</b>	<i>Signal to Noise Ratio</i>	Relação Sinal-Ruído
<b>TCP</b>	<i>Transfer Control Protocol</i>	Protocolo de Controle de Transferência
<b>TDMA</b>	<i>Time Division Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i>	Protocolo de Datagrama de Usuário
<b>US</b>	<i>Upstream</i>	Canal de Subida
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>	Barramento Serial Universal
<b>VBW</b>	<i>Video Bandwidth</i>	Largura de Banda de Vídeo
<b>xDSL</b>	<i>X Digital Subscriber Line</i>	Linha de Assinante Digital

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ARQUITETURA DE REDE HFC .....	7
FIGURA 2 – TOPOLOGIA EM ESTRELA DA REDE HFC.....	9
FIGURA 3 – TOPOLOGIA EM ANEL DA REDE HFC .....	10
FIGURA 4 – ALOCAÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS NAS REDES HFC.....	13
FIGURA 5 – ARQUITETURA BÁSICA DE TRANSMISSÃO DE DADOS NAS REDES HFC.....	17
FIGURA 6 – QUADRO DE TRANSMISSÃO MPEG-2.....	23
FIGURA 7 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE ALOCAÇÃO MAP .....	24
FIGURA 8 – MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO EM FREQUÊNCIA NA BANDA DE DESCIDA.....	27
FIGURA 9 – MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO EM FREQUÊNCIA NA BANDA DE RETORNO.....	28
FIGURA 10 – FORMA DE INSTALAÇÃO DO CABLE MODEM NOS ASSINANTES .....	29
FIGURA 11 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO CABEÇAL E RECEPTOR DIGITAL DVB-C .....	32
FIGURA 12 – DISTORÇÃO DE 2ª ORDEM COMPOSTA.....	40
FIGURA 13 – BATIMENTO COMPOSTO DE 3ª ORDEM .....	41
FIGURA 14 – EFEITO DA DUPLICAÇÃO DA IMAGEM DESLOCADA PARA DIREITA.....	43
FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CURVA DE TRANSFERÊNCIA DO LASER .....	53
FIGURA 16 – FORMA DE MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO DO SINAL NA REDE HFC.....	68
FIGURA 17 – COMPARATIVO DA TAXA DE ERRO DE BITS VS RELAÇÃO EB/NO.....	71
FIGURA 18 – RELAÇÃO DO ERRO DE MODULAÇÃO (MER) .....	73
FIGURA 19 – PLANILHA DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE – PÁGINA 2.....	80
FIGURA 20 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO AMPLIFICADOR SYSTEM II - LGD.....	83
FIGURA 21 – MEDIÇÃO DO INGRESSO DE RUÍDO NA BANDA DE RETORNO.....	84
FIGURA 22 – MEDIÇÃO DO INGRESSO DE RUÍDO NA BANDA DE RETORNO.....	85
FIGURA 23 – RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO FILTRO PASSA ALTA SHP3-50 .....	86
FIGURA 24 – GRÁFICO NÍVEL DE RADIAÇÃO VS FREQUÊNCIA .....	88
FIGURA 25 – PERDA DE INSERÇÃO DAS PLACAS EQUALIZADORAS – 550 MHZ.....	93
FIGURA 26 – PERDA DE INSERÇÃO DAS PLACAS EQUALIZADORAS – 30 MHZ.....	95

FIGURA 27 – DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE SWEEP .....	97
FIGURA 28 – NÍVEIS DE SINAIS DO SISTEMA SWEEP .....	98
FIGURA 29 – REFERÊNCIA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO DIRETO .....	99
FIGURA 30 – REFERÊNCIA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO REVERSO .....	101
FIGURA 31 – CONSTELAÇÃO 64-QAM COM PROBLEMA DE RUÍDO TÉRMICO.....	103
FIGURA 32 – CONSTELAÇÃO 64-QAM COM PROBLEMA DE RUÍDO DE FASE .....	103
FIGURA 33 – CONSTELAÇÃO 64-QAM COM PROBLEMA DE INTERFERÊNCIA COERENTE.....	104
FIGURA 34 – INGRESSOS DE RUÍDO E INTERFERÊNCIAS NO CANAL DIGITAL.....	106
FIGURA 35 – CONSTELAÇÃO DO CANAL DIGITAL COM INGRESSOS DE RUÍDO .....	107
FIGURA 36 – ESTRESSE DE EQUALIZAÇÃO DO CANAL DIGITAL .....	108
FIGURA 37 – RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO CANAL DIGITAL.....	109
FIGURA 38 – TOPOLOGIA DA REDE EXISTENTE.....	113
FIGURA 39 – PONTOS DE IRRADIAÇÕES DETECTADOS NA REDE HFC .....	117
FIGURA 40 – RAMO I: C/N – NÍVEIS PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO .....	119
FIGURA 41 – RAMO I: C/N – NÍVEIS IMPLEMENTADOS .....	120
FIGURA 42 – RAMO I: CTB – NÍVEIS PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO.....	121
FIGURA 43 – RAMO I: CTB – NÍVEIS IMPLEMENTADOS .....	122
FIGURA 44 – RAMO I: CSO – PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO .....	123
FIGURA 45 – RAMO I: CSO – NÍVEIS IMPLEMENTADOS .....	124
FIGURA 46 – RAMO II: C/N – NÍVEIS PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO.....	129
FIGURA 47 – RAMO II: C/N – NÍVEIS IMPLEMENTADOS .....	130
FIGURA 48 – RAMO II: CTB – NÍVEIS PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO .....	131
FIGURA 49 – RAMO II: CTB – NÍVEIS IMPLEMENTADOS .....	132
FIGURA 50 – RAMO II: CSO – PROJETADO, EXISTENTE E MEDIDO .....	133
FIGURA 51 – RAMO II: CSO – NÍVEIS IMPLEMENTADOS.....	134



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA COMPARATIVA DE ARQUITETURA CELULARES DA REDE HFC .....	12
TABELA 2 – MODELO DOCIS DE CAMADAS COM REFERÊNCIA AO OSI .....	18
TABELA 3 – PARÂMETROS DOCSIS 1.1 PARA BANDA DE DESCIDA .....	19
TABELA 4 – TAXAS DE BITS DA BANDA DE DESCIDA PARA DOCSIS 1.1 .....	20
TABELA 5 – PARÂMETROS DOCSIS 1.1 PARA BANDA DE RETORNO .....	21
TABELA 6 – TAXAS DE BITS DA BANDA DE RETORNO PARA DOCSIS 1.1 .....	22
TABELA 7 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE UM CABLE MODEM DOCSIS.....	26
TABELA 8 – ESPECIFICAÇÃO ITU-T J.83 PARA MODULAÇÃO .....	33
TABELA 9 – PARÂMETROS DA ESPECIFICAÇÃO <i>DOCSIS</i> PARA MICRO-REFLEXÕES .....	46
TABELA 10 – PARÂMETROS TÉCNICOS DA REDE CATV – NORMA Nº 13/96.....	57
TABELA 11 – PARÂMETROS DA IRRADIAÇÃO DO SINAL – NORMA Nº 13/96 .....	66
TABELA 12 – CONFIGURAÇÕES DO ANALISADOR DE ESPECTRO BANDA DE RETORNO .....	82
TABELA 13 – CONFIGURAÇÃO DA PLACAS EQUALIZADORA E ATENUADORA .....	92
TABELA 14 – PARÂMETROS DA PERFORMANCE DOS CANAIS DIGITAIS.....	105
TABELA 15 – PRINCIPAIS PARÂMETROS DA REDE EXISTENTE .....	114
TABELA 16 – PLANO DE FREQUÊNCIA DA REDE EXISTENTE .....	114
TABELA 17 – NÍVEIS OPERACIONAIS DE ENTRADA E SAÍDA DOS AMPLIFICADORES .....	115
TABELA 18 – MEDIÇÕES DOS CANAIS DIGITAIS DO RAMO I -EXISTENTE.....	125
TABELA 19 – MEDIÇÕES DOS CANAIS DIGITAIS DO RAMO I - IMPLEMENTADO.....	127
TABELA 20 – MEDIÇÕES DOS CANAIS DIGITAIS DO RAMO II -EXISTENTE .....	135
TABELA 21 – MEDIÇÕES DOS CANAIS DIGITAIS DO RAMO II - IMPLEMENTADO .....	136

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b><u>Variável</u></b>	<b><u>Significado</u></b>	<b><u>Unidade</u></b>
$A_{in_{RF}}$	nível do sinal de $RF$ na entrada do transmissor óptico	dBmV
$A_{in_{RF\_canal}}$	nível do sinal de $RF$ na entrada do transmissor óptico por canal	dBmV
$A_{out_{RF}}$	nível do sinal de $RF$ na saída do receptor óptico	dBmV
$A_{ref}$	percentual do descolamento do sinal principal	%
$BER$	taxa de erro de bits	bits
$B_{ruído}$	medida da largura de banda de interesse do ruído	MHz
$BW$	medida da largura de banda de interesse para medição do ruído térmico	Hz
$BW_{ret}$	medida da largura de banda de interesse para medição do ruído térmico na banda de retorno	Hz
$c$	velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo ( $3.10^8$ )	m/s
$CN$	relação portadora-ruído de um único amplificador	dB
$CNR_{disparo}$	relação portadora-ruído de disparo do receptor óptico	dB
$CNR_{EDFA}$	relação portadora-ruído do amplificador óptico com dopagem a érbio	dB
$CNR_{opt}$	relação portadora-ruído do enlace óptico total	dB
$CNR_{ret}$	relação portadora-ruído de um único amplificador na banda de retorno	dB
$CNR_{RIN}$	relação portadora-ruído de intensidade relativa	dB
$CNR_{térmico}$	relação portadora-ruído térmico do receptor óptico	dB
$CNRT_{ret}$	relação portadora-ruído total do Node para $N$ amplificadores similares e não similares	dB
$CNT$	relação portadora-ruído total para $N$ amplificadores similares ou não similares em cascata	dB
$CSO$	relação portadora-distorção de 2ª ordem composta para um único amplificador	dB
$CSO_0$	relação portadora-distorção de 2ª ordem composta de referência do amplificador fornecido pelo fabricante	dB

$CSOT$	relação portadora-distorção de 2ª ordem composta total para N amplificadores similares ou não similares em cascata	dB
$CTB$	relação portadora-batimento composto de 3ª ordem para um único amplificador	dB
$CTB_0$	relação portadora-batimento composto de 3ª ordem de referência do amplificador fornecido pelo fabricante	dB
$CTBT$	relação portadora-batimento composto de 3ª ordem total para N amplificadores similares ou não similares em cascata	dB
$d$	distância do descolamento da imagem no aparelho de televisão	cm
$D$	largura horizontal do tubo de imagem do aparelho de televisão	in
$E_b / N_o$	relação da energia por bit sobre a potência do ruído por Hertz	dB
$E_{co}$	amplitude do sinal refletido	dB
$E_i$	intensidade do campo elétrico medido @ 3 metros da rede de cabos	$\mu V/m$
$EM$	amplitude da variação do sinal digital provocado por um sinal refletido	dB
$E_n$	tensão do ruído térmico	$\mu V$
$EQ$	valor da placa equalizadora de sinal	dB
$erfc$	função erro complementar	
$EVM$	magnitude de vetor de erro	%
$F$	fator de ruído do amplificador óptico	
$f$	freqüência de propagação do sinal	Hz
$f_{bw}$	largura de banda do canal para a transmissão de dados	MHz
$f_{m_{chL}}$	freqüência medida do canal mais baixo do sistema	MHz
$f_{op_{sistema}}$	freqüência operacional do sistema	MHz
$f_s$	taxa de símbolos por canal para transmissão de dados	Msym/s
$G$	ganho do amplificador	dB
$GDV$	variação do atraso de grupo sobre um canal	$\mu s$
$h$	constante de Plank's ( $6,63 \cdot 10^{-34}$ )	J.s

$I$	medida dos pontos da fase da portadora digital na modulação <i>QAM</i>	
$I_{3000}$	índice cumulativo de irradiação do sinal referenciado para um ponto de 3000 metros sobre o centro do sistema de televisão a cabo	
$I_{\infty}$	índice cumulativo de irradiação do sinal referenciado para um ponto no infinito	
$I_b$	corrente de polarização do transmissor óptico	mA
$I_{MOD}$	corrente de modulação do transmissor óptico	mA
$i_n$	corrente equivalente ao ruído térmico do amplificador no receptor óptico	pA.Hz <sup>-1</sup>
$I_o$	medida dos pontos ideais da fase da portadora digital na modulação <i>QAM</i>	
$I_{ret}$	nível do sinal de <i>RF</i> na entrada do amplificador sentido reverso	dBmV
$I_{RF}$	corrente rms efetiva do sinal de <i>RF</i> na entrada do transmissor óptico	mA
$I_{th}$	corrente de limiar do transmissor óptico	mA
$J$ e $I$	parâmetros do intercalador	
$k$	fator de partida do transmissor óptico dado pelo fabricante	
$k_B$	constante de Boltzmann (1,38.10 <sup>-23</sup> )	J/K
$L$	perda de inserção da placa de equalização do amplificador	dB
$LC$	modificação do número de carregamento de canais no amplificador	dB
$L_{dipolo}$	comprimento de cada elemento da antena dipolo	m
$m$	índice de modulação óptica para um único canal	
$M$	número de estados distintos por símbolo	
$m_b$	número de bits por símbolo	
$MER$	relação de erro de modulação	dB
$MER_T$	média total da relação de erro de modulação através de várias medições	dB
$M_N$	quantidade de cada modelo de amplificador do <i>Node</i>	
$n$	número de amplificadores em cascata da rede <i>HFC</i>	

$N$	número de portadoras do sistema	
$N_{cascata}$	número total de amplificadores em cascata	
$NF$	figura de ruído do amplificador	dB
$n_i$	número de radiações encontradas na rede $\geq 50 \mu\text{V/m}$	
$NN$	número de medidas realizada para compor o $MER_T$	
$N_{node}$	número total de amplificadores no $Node$	
$NP$	potência do ruído térmico por Hz	dBmV/Hz
$NP_{ret}$	potência do ruído térmico na banda de retorno	dBmV
$N_{QAM}$	número de pontos de dados amostrados na modulação $QAM$	
$N_{RS}$	tamanho do pacote do código R-S	Bytes
$NT$	potência do ruído térmico	dBmV
$O$	nível de sinal de RF na saída do amplificador	dBmV
$OA$	nível de sinal operacional na saída do amplificador	dBmV
$OR$	nível de sinal de referência na saída do amplificador	dBmV
$P_{combiner}$	perda de inserção do combinador de sinal na entrada do amplificador de retorno	dB
$P_{diplex}$	perda de inserção do filtro duplexador na entrada do amplificador de retorno	dB
$PO_{IN}$	potência óptica na entrada do amplificador óptico	mW
$PO_{in}$	potência óptica na entrada do receptor óptico	mW
$PO_{out}$	potência óptica de saída do transmissor	mW
$PV$	relação pico-vale da cascata de amplificadores da rede $HFC$	dB
$q$	carga do elétron ( $1,60219 \cdot 10^{-19}$ )	C
$Q$	medida dos pontos da quadratura da portadora digital na modulação $QAM$	
$Qo$	medida dos pontos ideais da quadratura da portadora digital na modulação $QAM$	

$r$	amplitude da reflexão	dB
$R_b$	taxa de transmissão do sinal digital no canal de comunicação	bps
$R_{ef}$	taxa efetiva de transmissão de dados por canal considerando as perdas entre a camada física e a camada de enlace	Mbps
$R_i$	distância de inclinação da fonte de radiação do sinal para um ponto 3000 metros sobre o centro do sistema de televisão a cabo	m
$r_i$	distância entre a fonte de radiação do sinal e o centro do sistema de televisão a cabo	m
$RIN$	ruído de intensidade relativa do transmissor laser	dB/Hz
$R_L$	impedância da carga do sistema	$\Omega$
$R_n$	taxa nominal de transmissão de dados por canal	Mbps
$R_{RS}$	taxa de símbolos transmitidos do código R-S	sym/s
$S_{(t)}$	tensão do sinal transmitido em sistema de CATV	volts
$S_{m\acute{a}x}^2$	magnitude máxima do símbolo na modulação QAM	
$SNR$	relação sinal-ruído	dB
$SNR_{IN}$	relação sinal-ruído na entrada do amplificador óptico	dB
$T$	temperatura absoluta em condições ambiente	K
$TC$	modificação do ganho diferencial (tilt) no amplificador	dB
$t_h$	tempo de varredura da linha horizontal da imagem da televisão (52,5)	$\mu s$
$T_{sym}$	número de bits por símbolo	
$V_{pa}$	coeficiente da velocidade de propagação do sinal no ar = 96 % da nominal	
$V_{pc}$	coeficiente da velocidade de propagação do sinal no cabo coaxial, que para o cabo coaxial CommScope PIII = 87 % da nominal	
$V_{RF}$	nível do sinal de RF na entrada do transmissor óptico	volts
$x$	figura linear dos amplificadores da rede HFC	dB
$x_{(t)}$	tensão do sinal incidente na entrada de um circuito	volts
$XM$	relação portadora-modulação cruzada para um único amplificador	dB

$XM_0$	relação portadora-modulação cruzada de referência do amplificador fornecido pelo fabricante	dB
$XMT$	relação portadora-modulação cruzada total para N amplificadores similares ou não similares em cascata	dB
$Z$	impedância característica do sistema	$\Omega$
$\alpha$	fator de <i>roll off</i> do filtro	%
$\Delta med_{in}$	ganho diferencial medido na entrada do amplificador	dB
$\Delta op_{in}$	ganho diferencial operacional na entrada do amplificador	dB
$\Delta_{pp}$	medida da variação da amplitude do sinal digital no analisador de espectro	dB
$E$	eficiência de inclinação da curva de transferência característica do laser	
$H$	eficiência quântica do fotodetector	
$\lambda$	comprimento de onda do laser	m
$M$	índice de modulação óptica composto (sistema com $N$ portadoras)	
$P$	responsividade do fotodetector	A/W
$T$	tempo de atraso do sinal refletido	$\mu s$
$\Phi$	relação entre a quilometragem da planta vistoriada pela quilometragem da planta instalada em um período de no máximo 90 dias e no mínimo 75%	km
$X$	distância entre a fonte de reflexão e a re-reflexão	m
$\Gamma$	tempo de tolerância máxima da rajada do ruído	Ms

# INTRODUÇÃO

---

As operadoras de TV a cabo no Brasil possuem o interesse em oferecer novos serviços e produtos aos seus clientes, tais como: acesso à Internet em alta velocidade, televisão digital e telefonia *IP* (*Internet Protocol*). Embora os equipamentos para as redes *HFC* (*Hybrid Fiber-Coax*) já estivessem comercialmente disponíveis, as barreiras legais, econômicas e operacionais impossibilitaram a implantação destas novas tecnologias. Atualmente este cenário começa a ser modificado, pois as empresas estão se preparando para disponibilizar novos serviços e produtos, o que tornará a convergência, uma realidade.

Para que isso seja possível, as redes *HFC* existentes deverão estar preparadas para transmitir os sinais analógicos e digitais com qualidade, tanto no sentido direto como no sentido reverso da rede. Desta forma, os parâmetros de qualidade existentes deverão ser revistos, e a partir daí, será necessário o desenvolvimento de novos procedimentos para que o melhor desempenho seja alcançado. No Brasil, as redes, na sua maioria, foram implantadas há mais de dez anos, sendo, inicialmente projetadas para oferecer apenas os serviços de televisão analógica.

Os avanços tecnológicos vêm contribuindo significativamente para o desenvolvimento de equipamentos e dispositivos cada vez mais modernos, devendo melhorar o desempenho na qualidade da transmissão dos sinais. Apesar disto, no Brasil, as infra-estruturas das operadoras de TV a cabo são relativamente recentes, e conseqüentemente, os operadores não estão priorizando seus investimentos nas modificações das arquiteturas dos projetos já implantados. Os investimentos atuais estão sendo focados na aquisição de novos equipamentos e dispositivos, a fim de disponibilizar novos serviços e produtos, sem modificar a planta existente.



A grande vantagem em obter o melhor desempenho da infra-estrutura existente consiste em disponibilizar o maior conteúdo de programação e um maior número de serviços. Conseqüentemente será possível disponibilizar uma maior interatividade aos seus clientes, com o melhor aproveitamento possível do espectro de frequência. A relação do maior número de serviços e conteúdo, por ocupação da largura de faixa, é o que tornará as operadoras de TV a cabo grandes empresas no setor de telecomunicações.

Portanto, torna-se evidente a importância da prévia análise dos parâmetros de qualidade da planta instalada, para que desta forma seja possível prover o correto dimensionamento e as melhorias necessárias. Nesse contexto, este trabalho apresentará uma nova metodologia de trabalho a ser implantado em campo para assegurar a qualidade da transmissão dos canais analógicos e possibilitar a implantação dos canais digitais.

No CAPÍTULO 1 serão apresentados os conceitos básicos de uma rede *HFC*, dando ênfase à arquitetura celular e a alocação do espectro de frequência. Ainda nesse capítulo, serão abordados os sistemas de transporte de dados e de televisão digital, apresentando seus funcionamentos e padronizações.

No CAPÍTULO 2 serão apresentadas as formulações necessárias para os cálculos dos principais parâmetros técnicos de qualidade de uma rede *HFC*, dando ênfase ao transporte dos sinais analógicos e digitais na banda passante do sentido direto. Ainda nesse capítulo serão caracterizados os parâmetros mínimos aceitáveis para o bom funcionamento, tanto no enlace óptico como no enlace coaxial.

No CAPÍTULO 3 será apresentada uma nova metodologia de trabalho que deverá ser seguida para assegurar a qualidade da transmissão dos canais analógicos e possibilitar a implementação dos canais digitais em uma rede *HFC* existente, bem como, garantir os parâmetros mínimos estabelecidos através dos cálculos dos principais parâmetros técnicos de qualidade.

No CAPÍTULO 4 serão apresentados os resultados comparativos, antes e depois, da aplicação da metodologia proposta e validação dos resultados obtidos em

campo de uma área de interesse. Nessa área, foi realizado o estudo de caso em dois ramos da linha de transmissão e distribuição de sinais, destinados aos serviços de televisão por assinatura, transporte de dados em alta velocidade e serviços de televisão digital.

Finalmente, no CAPÍTULO 5 são apresentadas as considerações finais deste trabalho, onde é realizada uma análise sobre os aspectos mais significativos de seu desenvolvimento. Além disso, são apresentadas também, as sugestões para os trabalhos futuros, dando continuidade a esta linha de pesquisa.

# CAPÍTULO 1: CONCEITOS BÁSICOS

---

*Este capítulo introduz os conceitos básicos de uma rede HFC, enfatizando a sua estrutura, arquitetura básica e a faixa de frequências utilizada para os canais de comunicação. Além disso, são também apresentados os conceitos básicos de um sistema de acesso de dados sobre redes HFC, destacando o padrão DOCSIS de acesso, as modulações utilizadas, a arquitetura da rede, etc. Por fim, são apresentados a arquitetura, funcionamento e conexões do padrão DVB-C para o transporte de vídeo digital em uma rede HFC.*

## 1.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo será apresentado de modo tutorial e será estruturado em 3 partes. A primeira parte introduzirá os conceitos básicos de uma rede *HFC*, enfatizando sua estrutura, topologia básica, arquitetura utilizadas, alocação do espectro de frequência para os canais de comunicação da central para o assinante e do assinante para central e a caracterização de cada um destes.

A segunda parte mostrará como é realizada a implementação de um sistema de transmissão de dados sobre uma rede *HFC*, destacando sua arquitetura, as características das modulações utilizadas, o padrão de comunicação *DOCSIS* (*Data Over Cable Service Interface Specification*) e as principais características de funcionamento da tecnologia *Cable Modem*.

Na terceira parte, será abordada a implementação de um sistema de transmissão de vídeo digital sobre a rede *HFC*, caracterizando o padrão *DVB-C* (*Digital Video Broadcasting for Cable Systems*), o qual foi escolhido pelas operadoras de TV a cabo no Brasil.

## 1.2 REDE HFC

### 1.2.1 INTRODUÇÃO

A rede de televisão a cabo (*CATV – Cable Television*) tem por objetivo distribuir aos seus assinantes sinais de televisão, sejam através de canais abertos já disponíveis para recepção local, ou provenientes de satélites, ou, ainda, através de canais fechados, denominados codificados, de diversas fontes e nacionalidades. Inicialmente as redes de *CATV* foram projetadas para distribuição de sinais de televisão analógicos para seus assinantes.

O desenvolvimento das fibras ópticas monomodo, com baixo nível de atenuação (0,35dB/km em 1310nm e 0,25dB/km em 1550nm), possibilitou novas arquiteturas de projetos das redes de *CATV*. As redes utilizavam a arquitetura *Tree-and-Branch* (árvore e ramificação) e passaram a utilizar a topologia híbrida fibra-coaxial *HFC*. Essa nova arquitetura permite a transmissão dos sinais com melhor qualidade.

Assim sendo, com os desenvolvimentos tecnológicos dos equipamentos e dispositivos, a rede tornou-se capaz de transmitir sinais analógicos e digitais em ambos os sentidos da rede. O sentido do assinante para a central de distribuição (*Headend - Cabeçal*), também denominado caminho reverso e/ou retorno, possibilita o transporte de sinais sobre a mesma plataforma de cabos já existente. Sendo assim, outros serviços podem integrar-se à rede já instalada, como por exemplo, telefonia, transmissão de dados, televisão interativa, etc.

Os serviços de televisão a cabo e multimídia proporcionam às operadoras de televisão por assinatura a possibilidade de fornecer a seus clientes serviços como: Vídeo-sob-Demanda (*Video-on-Demand*), Programação de eventos e jogos pagos (*Pay-per-View*), Serviços Bancários em Casa (*Home Banking*), Compras em Casa (*Home Shopping*), acesso em alta velocidade à Internet e Telefonia [1].

Será apresentada nesta seção a arquitetura básica da rede *HFC*, a sua estruturação em células, propostas para aumentar a eficiência da rede, a alocação da faixa de frequências utilizadas para a comunicação, bem como, uma definição dos canais de comunicação no sentido direto e reverso.

### 1.2.2 ARQUITETURA BASE

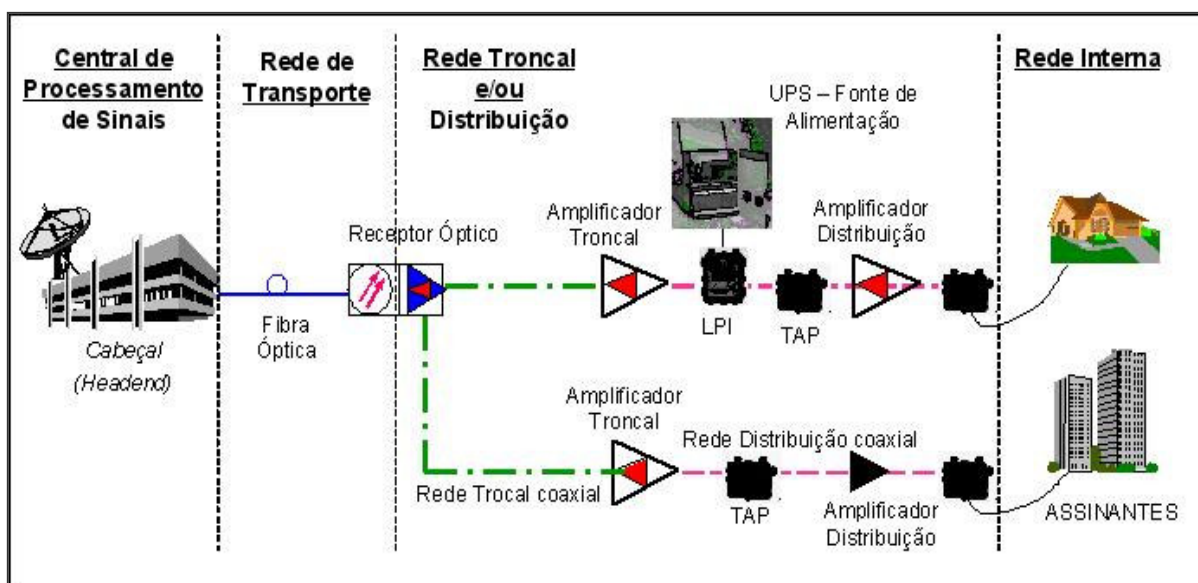
A Rede Híbrida Fibra e Coaxial (*HFC*) é um nome genérico que descreve um número infinito de conceitos de projeto óptico e coaxial. Essencialmente qualquer variação de projeto utilizando fibra óptica e cabos coaxiais podem receber sua própria sigla como, por exemplo: *FTSA* (*Fiber to the Service Area*), *FTF* (*Fiber to the Feeder*), *FTLA* (*Fiber to the Last Active*), *FBB* (*Backbone Fiber*), e *FTTC* (*Fiber to the Curb*).

A arquitetura *HFC* possibilitou a substituição do cabo troncal e a redução de vários amplificadores troncais em cascata, aumentando assim a qualidade e disponibilidade do sinal fornecido. Os projetistas têm optado por dois enlaces ópticos, que empregam dois transmissores e dois receptores ópticos para as redes bi-direcionais.

A partir do receptor óptico, a distribuição do sinal é realizada através de cabos coaxiais com amplificação de *RF* (*Radio-Frequency*) nos dois sentidos, até o assinante [1].

O diagrama de um enlace *HFC* é composto basicamente pela combinação passiva ou ativa de diversas portadoras de vídeo e/ou dados, analógico e/ou digital, alocadas na Central de Processamento de Sinais. Os sinais combinados serão inseridos em vários transmissores ópticos, que serão responsáveis pelo transporte do sinal até os receptores ópticos, localizados em diversos pontos da rede externa. O receptor óptico fará a interface com a rede coaxial, que transportará os sinais combinados até a casa dos assinantes. Dessa forma, é possível dividir as redes *HFC* em quatro partes: Central de Processamento de Sinais (Cabeçal), Rede de Transporte, Rede Troncal e/ou

Distribuição, e Rede Interna dos Assinantes [2], como é mostrado na FIGURA 1.



**FIGURA 1 – Arquitetura de Rede HFC**

Cabeçal (Headend): o cabeçal é responsável pela captação dos canais provenientes dos satélites, canais abertos já disponíveis para recepção local ou de canais fechados, de diversas fontes e nacionalidades. É no cabeçal que todos os sinais recebidos por diversas fontes serão processados, equalizados, modulados, codificados e posteriormente transmitidos para rede de transporte. Com a implantação dos novos serviços de multimídia, o cabeçal passou a também ser considerado a central de processamento de informações do sistema, envolvendo os sinais de vídeo, dados e telefonia.

Rede de Transporte: a rede de transporte inicia no cabeçal através dos transmissores ópticos, que são responsáveis em enviar o sinal, através das fibras ópticas, até os receptores ópticos instalados na rede externa. A rede de transporte é composta por dois enlaces ópticos, um para transmissão de sinal do cabeçal para os assinantes e outro para transmissão de sinal dos assinantes para o cabeçal. Esta estrutura representa aproximadamente 12% do total da rede [3].

Rede Troncal e/ou Distribuição: a diferença básica entre a rede troncal ou a rede de distribuição é a forma estratégica na distribuição dos sinais de *RF* através da rede coaxial. Na rede troncal não é instalado nenhum derivador de sinal para o atendimento dos assinantes, limita-se apenas a transmitir os sinais entre os amplificadores, que são denominados amplificadores troncais. A rede de distribuição é a parte da rede coaxial tradicional, portanto, é composta de amplificadores, equalizadores de linha, divisores e derivadores de sinal *RF* para a casa dos assinantes. Ela corresponde a maior parte da rede, representando 38% do total [3].

Rede Interna: a rede interna é a parte da rede que se encontra no ambiente do assinante, ou seja, desde a derivação da rede de distribuição até o aparelho de decodificação dos canais de televisão, ou o conversor, para rede de computadores (*Cable Modem*). Devido a sua própria localização, em um ambiente não controlado e com vários pontos de rede abertos, é na rede interna que ocorre a maior parte (aproximadamente 90%) dos problemas de ingresso de ruído do sistema [3], [6].

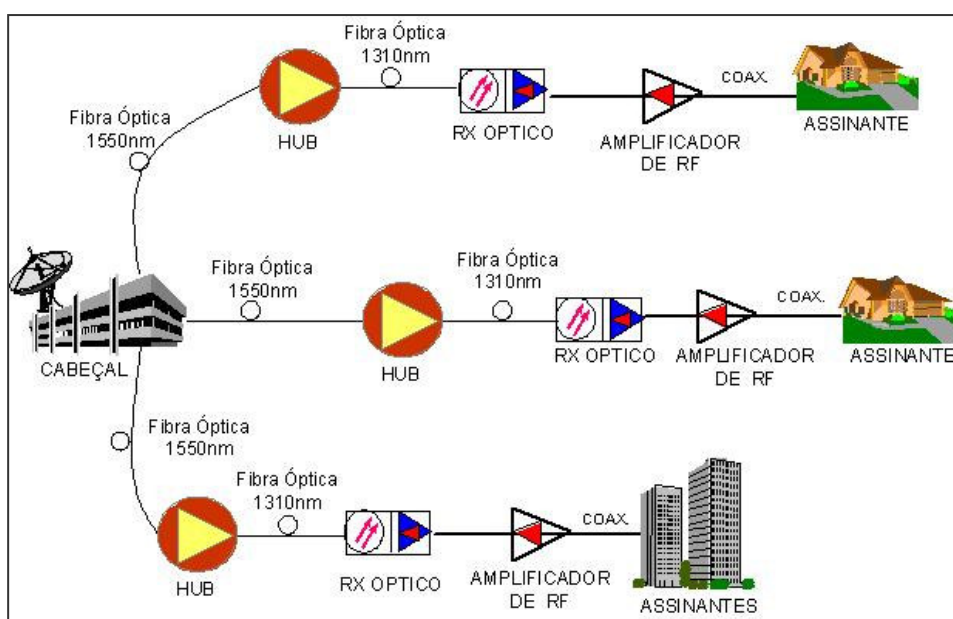
### 1.2.3 TOPOLOGIA DAS REDES HFC

As redes de *CATV* são do tipo *broadcast*, em que o sinal é enviado do Cabeçal a todos os assinantes. Contudo, a principal vantagem da arquitetura *HFC*, além do fato de poder estender a rede a pontos mais distantes, é configurar uma distribuição tal de células de modo a permitir a transmissão no sentido inverso da rede, isto é, do assinante até a Central de Processamento de Sinais. Dessa forma, é possível assegurar que o sinal enviado do assinante chegue à central de processamento com boa qualidade [1].

As redes *HFC* apresentam uma topologia do tipo “estrela”, na qual, os cabos de fibras ópticas são lançados e derivados em diversas direções preestabelecidas pelo projetista. O número de fibras ópticas, utilizadas para interligação de cada receptor óptico, deve ser determinado pelo número de serviços (Sinais de Televisão, Internet, Supervisão de Rede, Telefonia, etc.) que possam ser futuramente oferecidos e pela

demanda por tais serviços. Na prática, cada receptor óptico é alimentado por duas fibras, uma para o sentido direto e outra para o sentido reverso e mais seis fibras de reserva [1].

A topologia em “estrela” é utilizada com transmissores ópticos operando com comprimento de onda na janela de 1310nm ou 1550nm, onde as rotas normalmente não apresentam redundância de cabos. Para implementação do canal de retorno deve-se ligar um enlace do receptor óptico até o cabeçal, e este será responsável para transportar a banda de retorno (5-30MHz ou 5-42MHz) de cada uma das saídas de *RF* do receptor óptico. Como os enlaces ópticos são relativamente curtos, inferiores a 20 quilômetros, não há qualquer tipo de regeneração do sinal óptico até o receptor óptico, caracterizando-se um sistema do tipo ponto-a-ponto [1]. A FIGURA 2 ilustra a topologia em “estrela” da rede *HFC*. Neste caso, o cabeçal transporta os sinais do sentido direto através de transmissores ópticos operando na janela de 1550nm até os concentradores de sinais, denominados de *Hub's*. Dos *Hub's* até os receptores ópticos, a janela de operação dos transmissores ópticos poderá ser de 1310nm, isso dependerá da distância dos enlaces ópticos.

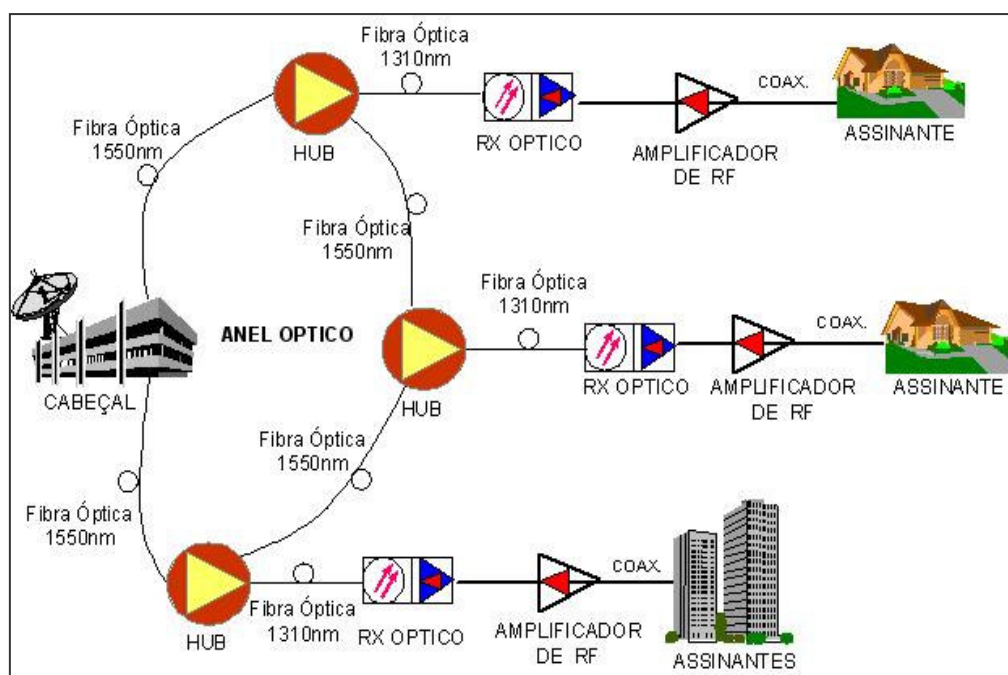


**FIGURA 2 – Topologia em Estrela da Rede HFC**



Uma outra configuração possível é a topologia do tipo em “anel”. Neste caso, cabos ópticos são lançados de modo a constituírem um circuito fechado entre os concentradores de sinais e o cabeçal. O mesmo sinal é transmitido tanto no sentido horário como no sentido anti-horário. Assim, com receptores ópticos apropriados pode-se obter redundância de rota e aumentar a disponibilidade de operação do sistema.

Devido ao grande perímetro dos anéis ópticos, superior a 20 quilômetros, utilizam-se transmissores ópticos operando na janela de 1550nm. A partir dos *Hub*’s, localizados ao longo do seu perímetro, os sinais analógicos e digitais são regenerados e novamente transmitidos aos receptores ópticos. Desta forma, a topologia aqui empregada é do tipo “estrela” até os receptores ópticos. Esta segunda distribuição pode ser realizada com transmissão em 1310nm, como descrito anteriormente [1]. A FIGURA 3 ilustra este tipo de topologia.



**FIGURA 3 – Topologia em Anel da Rede HFC**

#### 1.2.4 ARQUITETURA CELULAR DAS REDES HFC

No projeto de uma rede *HFC*, a sigla utilizada pelo projetista tem sido tipicamente baseada no número de domicílios atendidos pela rede. Inicialmente as áreas de cobertura para os assinantes, denominados de células ou de *nodes*, possibilitavam o atendimento de aproximadamente 10.000 domicílios, mas os parâmetros operacionais reduziram este número para 5.000 domicílios. À medida que a largura de faixa aumentou de 450MHz para 750MHz, ocorrendo a possibilidade de serem oferecidos novos serviços agregados, os tamanhos das células foram reduzidos para 2.000 domicílios. As reduções chegaram a 500, mas os custos dos equipamentos ópticos fizeram com que este tamanho não fosse economicamente viável. Portanto, considerações relativas ao custo e ao ingresso de ruído, provenientes da rede interna, estabeleceram que o tamanho da célula deve compreender, em média, entre 1.000 e 2.000 domicílios [1].

Quanto maior for a dimensão das células, maior será a penetração da rede de fibras ópticas na direção do assinante. Como cada célula transmite e recebe os sinais para um número menor de assinantes, maior será a largura de banda disponível para cada usuário e menor será o nível de ingresso de ruído na entrada dos transmissores ópticos de retorno [3]. A redução do tamanho das células proporciona a instalação de um número menor de amplificadores e, desta forma, aumenta a confiabilidade e o desempenho do sistema, pois reduz o número de amplificadores instalados em sequência.

No projeto da rede *HFC*, as células são divididas de acordo com a penetração dos serviços que necessitam de alocação de banda no canal de retorno [2], [3], ou seja, os serviços interativos, como por exemplo: telemetria, acesso de dados em banda larga, telefonia, vídeo-sob-demanda, entre outros.

Considerando o número de domicílios atendidos, as células são classificadas da seguinte forma:

- Super Célula: 7.000 a 9.000 domicílios
- Célula Padrão: 1.500 a 2.500 domicílios
- Mini Célula: 500 a 650 domicílios
- Micro Célula: 100 a 150 domicílios
- Pico Célula: até 50 domicílios

A TABELA 1 abaixo mostra um comparativo das arquiteturas celulares da rede *HFC*, o qual especifica a quantidade média necessária de amplificadores em cascata para atender a quantidade de domicílios, dependendo da arquitetura adotada.

Através da quantidade de amplificadores em cascata é possível determinar o valor do parâmetro de qualidade da relação portadora-ruído no final da cascata, onde poderá variar de 53dB a 45dB, dependendo da arquitetura adotada.

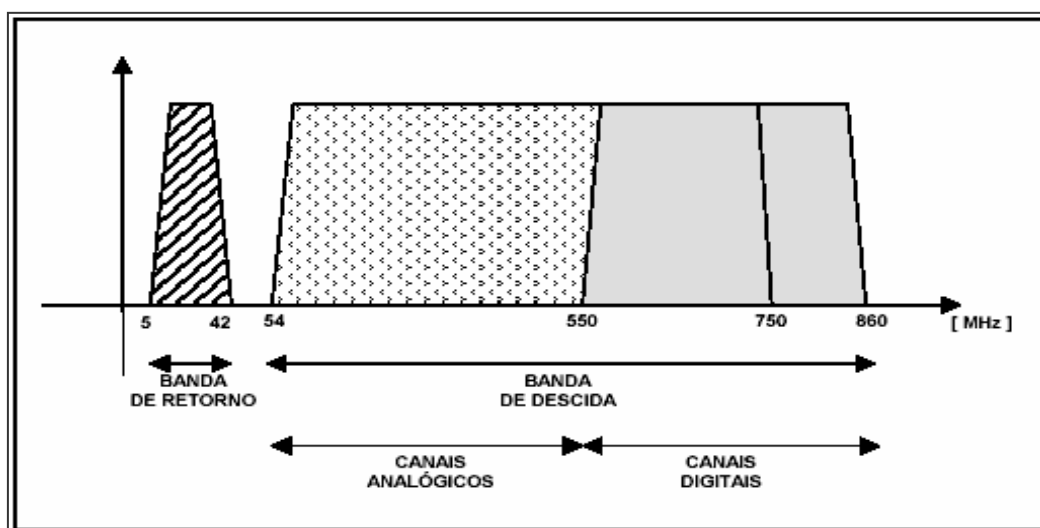
**TABELA 1 – Tabela Comparativa de Arquitetura Celulares da Rede HFC**

	<i>Super</i>	<i>Padrão</i>	<i>Mini</i>	<i>Micro</i>	<i>Pico</i>
Banda Passante (MHz)	54 a 450	54 a 550	54 a 1.000	54 a 1.000	54 a 1.000
Faixa de Retorno (MHz)	5 a 42	5 a 42	5 a 42	5 a 42	5 a 42
Cascata de Amplificadores	10 a 15	4 a 8	1 a 2	0	0
Relação Portadora-Ruído (dB)	45 a 47	48 a 50	50 a 51	50 a 53	50 a 53

Atualmente no Brasil, a arquitetura celular predominante nos projetos das redes *HFC* é a do tipo Padrão, porém, com os desenvolvimentos tecnológicos e a redução dos custos dos enlaces ópticos (equipamentos, dispositivos e cabos), as dimensões das células poderão ser reduzidas. Além disso, existe a possibilidade de aumentar a banda passante da rede no sentido direto, passando de 550MHz para 1GHz.

### 1.2.5 ALOCAÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

O espectro de frequência para comunicação nas redes *HFC* bidirecionais é separado em dois sentidos: *Forward* ou *Downstream* (sentido direto ou banda de descida) e *Reverse* ou *Upstream* (sentido reverso ou banda de retorno). Os canais no sentido direto são transmitidos do cabeçal para os assinantes e o sentido reverso dos assinantes para o cabeçal [3]. A FIGURA 4 apresenta a alocação do espectro de frequência em ambos os sentidos.



**FIGURA 4 – Alocação do Espectro de Frequências nas Redes HFC**

#### 1.2.5.1 BANDA DE DESCIDA

A banda de descida, também conhecida como Canal Direto, é destinada ao transporte dos sinais analógicos e digitais, portanto, é responsável pela transmissão dos canais de vídeo, tráfego de dados e voz no sentido do provedor de acesso aos assinantes.

As faixas de frequências, tipicamente utilizadas pelas redes *HFC* no Brasil, estão compreendidas entre 54MHz e 550 ou 750MHz. Existem redes mais modernas, nas quais a faixa poderá ser expandida até 860MHz.

Importante ressaltar que a banda de descida poderá ser compartilhada com todos os usuários da rede, isso dependerá da arquitetura adotada na implantação dos combinadores e divisores de *RF* no cabeçal. Esses dispositivos possuem a função de combinar e dividir os sinais digitais que serão transportados até a entrada dos transmissores ópticos.

#### 1.2.5.2 BANDA DE RETORNO

A banda de retorno, também conhecida como Canal Reverso, é destinada ao transporte dos sinais digitais dos assinantes até o cabeçal. A partir de sua implantação foi possível disponibilizar serviços interativos de acesso em alta velocidade à Internet, telefonia e televisão interativas, através da rede coaxial.

As faixas de frequências, tipicamente utilizadas pelas redes *HFC* no Brasil, estão compreendidas entre 5MHz e 30 ou 42MHz. Existem redes nas quais a faixa poderá ser expandida até 65MHz [3].

A banda de retorno, de forma análoga à banda de descida, é compartilhada com os usuários, porém, nesse caso, poderá ser somente entre os usuários de uma mesma célula.

A banda de guarda dos equipamentos ativos encontra-se entre 42 e 54MHz (Filtro Duplexador dos amplificadores) [1].

## 1.3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS SOBRE REDES HFC

### 1.3.1 INTRODUÇÃO

Uma rede de TV a cabo, além de transmitir sinais analógicos de televisão, pode permitir o tráfego de sinais digitais. No Brasil, no final da década de 90, com a implantação das fibras ópticas já instaladas e a ativação do canal de retorno na rede coaxial, surgiram as primeiras redes de TV a cabo fornecendo o serviço de acesso em alta velocidade à Internet [7], [8].

A crescente demanda por serviços de acesso de dados em banda larga e o surgimento de outras tecnologias competidoras com a rede *HFC*, como a arquitetura *xDSL (Digital Subscriber Line)*, provocou a união entre as indústrias e as operadoras [09] para a definição de uma especificação para a comunicação de dados de alta capacidade.

Para poder oferecer alta velocidade de acesso aos serviços à Internet, em faixa larga, as operadoras de TV a cabo tiveram que migrar suas redes da arquitetura *Tree-and-Branch* para arquitetura *HFC* bidirecional. Neste tipo de arquitetura (*HFC* bidirecional), um ou mais canais de televisão são normalmente alocados para tráfego do cabeçal para os assinantes e outro canal na faixa de retorno é utilizado para o envio dos sinais dos assinantes ao cabeçal.

No cabeçal, um equipamento denominado *CMTS (Cable Modem Termination System)* é responsável pela comunicação entre o acesso à Internet e a comunicação com os assinantes. Cada assinante da rede deve possuir um conversor, denominado de *CM (Cable Modem)*, para recepção e transmissão das informações [7], [8].

Nesta sessão, pretende-se abordar um resumo da padronização para transmissão de dados sobre as redes *HFC*, bem como os aspectos mais relevantes sobre a tecnologia do Modem a Cabo.

### 1.3.2 PADRONIZAÇÃO DOCSIS SOBRE REDES HFC

Um sistema de transmissão de dados através das redes de *CATV*, compreende várias tecnologias e padronizações diferentes. Para que haja um mercado maciço de *CM's*, primeiramente é necessário desenvolver produtos que possuam interoperabilidade. Para realizar a tarefa de constituir sistemas interoperáveis, os operadores de TV a cabo Norte-Americanos deram forma a uma parceria limitada denominada *MCNS (Multimedia Cable Network System)* e desenvolveram produtos segundo as exigências da padronização *DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)*.

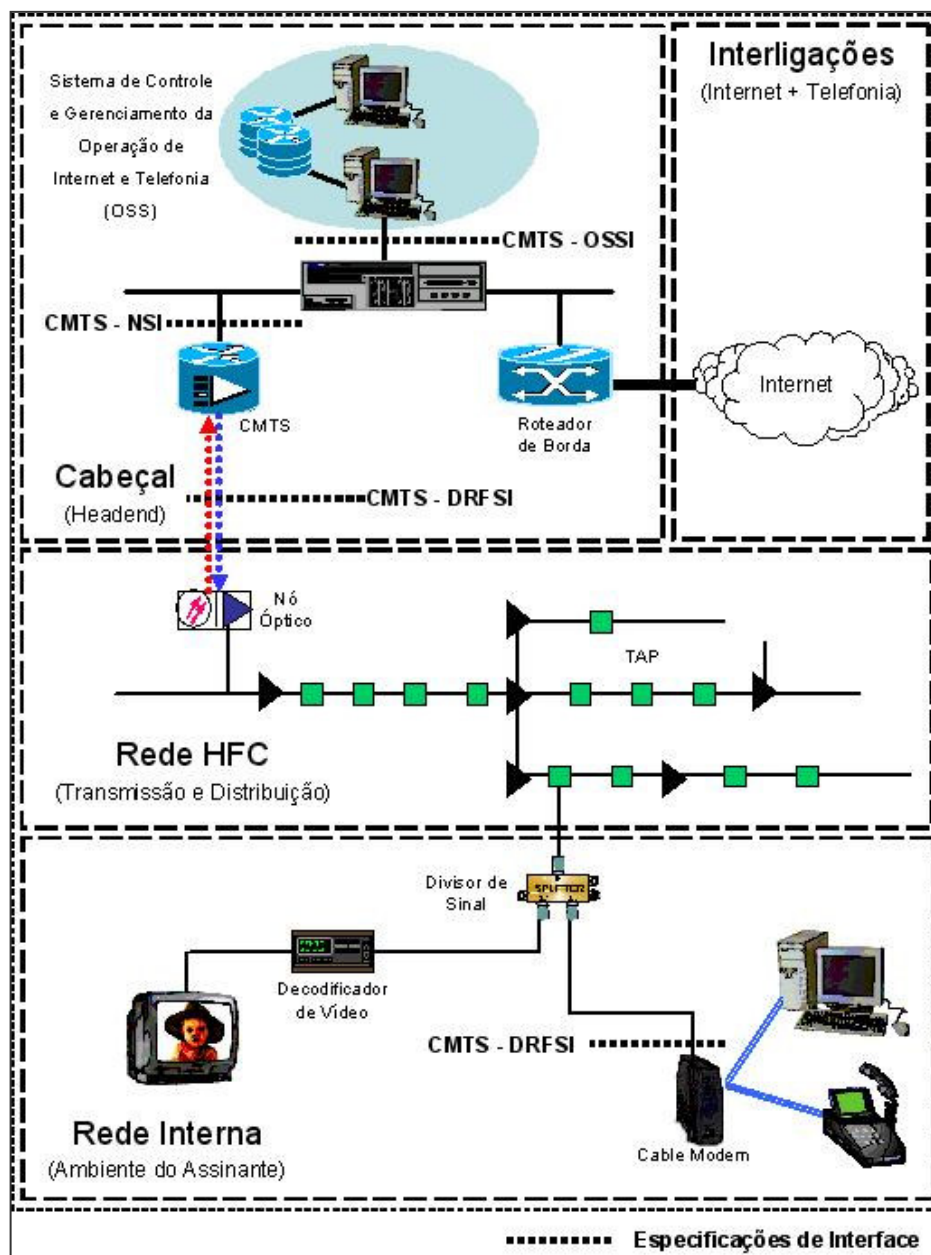
Em janeiro de 1996, o grupo de estudos da *MCNS* propôs a especificação *DOCSIS* e em seguida, com a aprovação pelo *ITU (International Telecommunication Union)* em 1998 (ITU J.112), a comunicação de dados sobre a rede *HFC* teve grande evolução. As exigências *DOCSIS* são controladas pela *CableLabs*, que analisa a complexidade dos fabricantes e realiza os testes de interoperabilidade através de um programa de certificação dos equipamentos [09], [10].

Atualmente a *CableLabs* possui três especificações *DOCSIS* (1.0, 1.1 e 2.0) disponíveis para equipamentos e softwares de *CM's*, que suportam transferências de dados em alta velocidade sobre redes de *CATV*, atualmente até 8Mbps. No lado dos equipamentos, os *modems* requeridos devem ser certificados pela *CableLabs*, conforme a especificação *DOCSIS*. Assim, os fabricantes certificados recebem um selo de aprovação de que o *CM* é apto a transferir dados bidirecionais em alta velocidade.

No Brasil, as operadoras de TV a cabo implementaram no final de 1999 a padronização *DOCSIS* especificação 1.0 nas suas redes bidirecionais. Atualmente, as principais capitais brasileiras já oferecem o serviço de conexão à Internet em banda larga seguindo a padronização *DOCSIS*, especificação 1.1.

Na especificação *DOCSIS* é definida a arquitetura básica do sistema onde são identificados os seus principais componentes e as interfaces envolvidas, como é

mostrado na FIGURA 5.



**FIGURA 5 – Arquitetura Básica de Transmissão de Dados nas Redes HFC**

O CM é o equipamento que realiza a interface entre a rede de dados interna do assinante, normalmente no padrão *Ethernet*, com a rede coaxial. Através da comunicação entre o CMTS e os CM's é possível estabelecer uma ponte de comunicação entre os equipamentos de rede de dados instalados no cabeçal, responsáveis pela interligação com outras redes e a rede interna do assinante, criando, dessa forma, uma grande rede local abrangendo toda a área de cobertura da rede HFC.



Conseqüentemente, para interconectar essa grande rede local a outras redes é necessária à interligação do *CMTS* com um equipamento de comutação de alta velocidade, conhecido como *Switch*. O *Switch* é capaz de interligar vários *CMTS*, outros servidores necessários para a implantação do serviço de acesso banda larga, *gateways* para aplicações de telefonia *IP* e outros equipamentos roteadores para a interconexão com outras redes como, por exemplo, à Internet [9].

Para a realização do provisionamento do serviço, controle dos *CM's*, análise de desempenho da rede, faz-se necessária a utilização de servidores de gerenciamento, onde são instaladas aplicações do tipo *OSS (Operation Support System)* [11]. Através destas aplicações é possível controlar o plano de serviço disponibilizado para cada assinante, a tarifação aplicada, e também, realizar o gerenciamento da rede para levantar parâmetros de qualidade requisitados pelas aplicações.

O padrão *DOCSIS* estabelece a comunicação de dados de forma semelhante ao modelo de referência *OSI (Open Systems Interconnection)*, como é mostrado na TABELA 2.

**TABELA 2 – Modelo DOCSIS de camadas com referência ao OSI**

OSI	DOCSIS	
Camadas mais Elevadas	Aplicação	DOCSIS Controle Mensagens
Camada de Transporte	TCP/UDP	
Camada de Rede	IP	
Camada de Enlace	IEEE 802.2	
	DOCSIS MAC	
Camada Física	Upstream	Downstream
	TDMA (mini-slots)	TDM (MPEG)
	5 – 42 (65) MHz	42 (65) – 860 MHz
	QPSK/16-QAM	8 ou 6 MHz 64/256 - QAM ITU – T ( J.83 Anexo A ou B )

Algumas características da padronização *DOCSIS* especificação 1.1 serão mostradas a seguir.

### 1.3.2.1 CAMADA FÍSICA

Na camada física do padrão *DOCSIS* os canais da banda de descida são baseados em especificações de vídeo digital, segundo as recomendações do *ITU-T J.83* anexo B, que incluem as características mostradas na TABELA 3.

**TABELA 3 – Parâmetros DOCSIS 1.1 para Banda de Descida**

<i>Parâmetros</i>	<i>Valor</i>
Faixa de Frequência	88 a 860 MHz
Tipo de Modulação	64-QAM e 256-QAM
Largura de Banda do Canal	6 MHz
Plano de Canalização	<sup>(1)</sup> STD, <sup>(2)</sup> HRC e <sup>(3)</sup> IRC
Fator de Roll-off	
64-QAM	~ 18 %
256-QAM	~ 12 %

Nota:

(1) *STD (Standard)* – Plano de Frequências Padrão (PFP).

(2) *HRC (Harmonically Related Carriers)* – Plano de Frequências com Portadoras Harmonicamente Relacionadas (PHR).

(3) *IRC (Incrementally Related Carriers)* – Plano de Frequências com Portadoras Incrementalmente Relacionadas (PIR).

Outros parâmetros importantes para a transmissão dos dados são as taxas de símbolos e as taxas de transmissão efetiva para o canal de comunicação.

A taxa de símbolos  $f_s$  poderá ser determinada através da Equação (1.1), em Msym/s [4].

$$f_s = \frac{f_{bw}}{1 + \alpha} \quad (1.1)$$

onde:

$f_{bw}$ : largura de banda do canal (MHz)

$\alpha$ : excesso da largura de banda do filtro (fator de *roll off*)

Uma vez que já se tenha determinado a taxa de símbolos, através da Equação (1.1), a taxa nominal de transmissão  $R_n$  para o canal de comunicação poderá ser determinada como é mostrado pela Equação (1.2), em Mbps [4].

$$R_n = f_s \cdot \log_2 \cdot 2^{m_b} \quad (1.2)$$

onde:

$f_s$ : taxa de símbolos (Msym/s)

$m_b$ : número de bits por símbolo

O número de bits por símbolo para modulação  $QPSK = 2$ ;  $16QAM = 4$ ;  $64QAM = 6$  e  $256QAM = 8$ .

A taxa efetiva de transmissão  $R_{ef}$  para o canal de comunicação na banda de descida poderá ser determinada através da Equação (1.3), em Mbps, onde a capacidade de transmissão efetiva está relacionada com o percentual de perda dos dados entre a camada física e a camada de enlace, *overhead* [4], [5].

$$R_{ef} = R_n \times 0,9 \quad (1.3)$$

TABELA 4 apresenta as taxas de transmissão para cada modulação na banda de descida. Os valores foram obtidos através das Equações (1.1), (1.2) e (1.3).

**TABELA 4 – Taxas de bits da Banda de Descida para DOCSIS 1.1**

Largura de Banda	Modulação	Taxa de Símbolos por Segundo	Taxa de Transmissão	Taxa de Transmissão Efetiva
6 MHz	64 QAM	5,056941 Msps	30,34 Mbps	~ 27 Mbps
	256 QAM	5,360537 Msps	42,88 Mbps	~ 38 Mbps
8 MHz	64 QAM	6,74 Msps	40,44 Mbps	~ 36 Mbps
	256 QAM	7,15 Msps	57,20 Mbps	~ 51 Mbps

FONTE: Adaptado de: CHAPMAN, John T. de. Multimedia Traffic Engineering for HFC Networks. Cisco Systems, 1999.

Devido ao maior nível de ruído apresentado na banda de retorno, quando comparado com a banda de descida, foi definido no padrão *DOCSIS* as modulações *QPSK* e *16-QAM*, que são mais imunes ao ruído [3].

A TABELA 5 mostra um resumo das características *RF* da banda de retorno.

**TABELA 5 – Parâmetros DOCSIS 1.1 para Banda de Retorno**

<i>Parâmetros</i>	<i>Valor</i>
Faixa de Frequência	5 a 42 MHz
Tipo de Modulação	QPSK e 16-QAM
Largura de Banda do Canal	200, 400, 800, 1.600 e 3.200 kHz
Fator de Roll-off	~ 25 %
Acesso	TDMA

Para a banda de retorno a padronização *DOCSIS* 1.0 e 1.1 estabelece que os sinais de dados devam ocupar uma largura de banda conforme a TABELA 5. A largura de faixa que o *CM* deverá utilizar dependerá diretamente da taxa de transmissão utilizada, pelo número de ocupação do canal de retorno e principalmente pela qualidade deste canal para a transmissão dos dados. A qualidade do canal está diretamente relacionada aos níveis de distorções e ao piso de ruído.

A taxa efetiva de transmissão  $R_{ef}$  para o canal de comunicação na banda de retorno poderá ser determinada através da Equação (1.4), em Mbps, onde a capacidade de transmissão efetiva está relacionada com o percentual de perda dos dados entre a camada física e a camada de enlace [4], [5].

$$R_{ef} = R_n \times 0,85 \quad (1.4)$$

A TABELA 6 apresenta as taxas de transmissão para cada modulação na banda de retorno. Os valores foram obtidos através das Equações (1.1), (1.2) e (1.3).

**TABELA 6 – Taxas de bits da Banda de Retorno para DOCSIS 1.1**

Largura de Banda	Taxa de Símbolos por Segundo	Taxa de Transmissão		Taxa de Transmissão Efetiva	
		QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM
200 kHz	160 ksps	0,32 Mbps	0,64 Mbps	0,27 Mbps	0,54 Mbps
400 kHz	320 ksps	0,64 Mbps	1,28 Mbps	0,54 Mbps	1,09 Mbps
800 kHz	640 ksps	1,28 Mbps	2,56 Mbps	1,09 Mbps	2,18 Mbps
1600 kHz	1280 ksps	2,56 Mbps	5,12 Mbps	2,18 Mbps	4,35 Mbps
3200 kHz	2560 ksps	5,12 Mbps	10,24 Mbps	4,35 Mbps	8,70 Mbps

FONTE: Adaptado de: CHAPMAN, John T. de. Multimedia Traffic Engineering for HFC Networks. Cisco Systems, 1999.

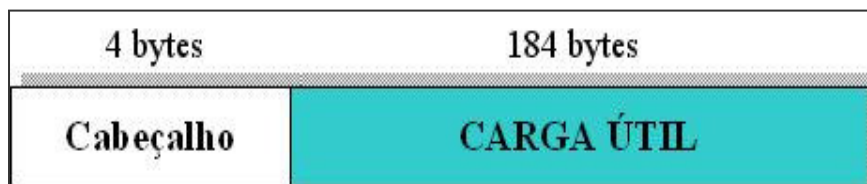
Da mesma forma que o canal de descida, o canal de retorno é compartilhado entre os vários assinantes. Assim, para organizar a forma de acesso ao canal, a padronização *DOCSIS* definiu a metodologia de acesso por divisão do tempo, ou seja, vários *CM's* acessam o mesmo canal em tempos diferentes, evitando, assim, conflitos na transmissão dos dados [3].

O padrão *DOCSIS* determina a divisão do canal de retorno em intervalos de comunicação conhecidos como *minislots*, entre 1 a 255. Estes *minislots* são atribuídos aos *CM's* para realizarem a transmissão de dados. Para manter todos os *CM's* sincronizados em relação aos *minislots*, o *CMTS* envia através do canal de descida um sinal de sincronismo. O acesso e a determinação da utilização dos *minislots* é definido no protocolo de acesso conhecido como *MAC (Media Access Control)* [10].

#### 1.3.2.2 CAMADA DE ENLACE

De forma a tornar possível a transmissão de dados e vídeo digital, através do mesmo canal de comunicação, a especificação *DOCSIS* estabelece que a comunicação de dados deve ser encapsulada em quadros de transmissão conforme o padrão *MPEG 2 (Moving Picture Experts Group)*.

O quadro *MPEG 2* é o padrão utilizado para a transmissão de vídeo digital e consiste em uma sequência de 188 Bytes, sendo os 4 primeiros Bytes destinados ao cabeçalho, como é mostrado na FIGURA 6. A inclusão do cabeçalho e de quadros de transmissão de controle e sincronismo reduz a taxa efetiva de transmissão.



**FIGURA 6 – Quadro de Transmissão MPEG-2**

#### 1.3.2.2.1 PROTOCOLO MAC

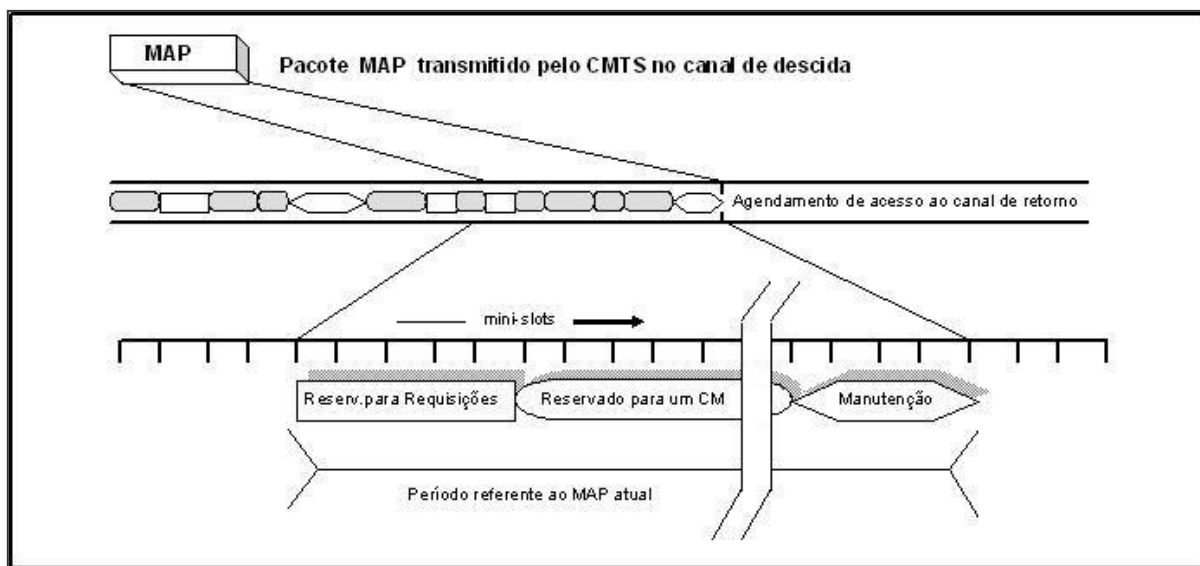
O protocolo *MAC* estabelece as normas de acesso do canal de dados na banda de retorno, fornecendo funcionalidades para os *CM's* poderem compartilhar um único canal de retorno para transmissão de dados [10]. Essas funcionalidades incluem a detecção e a retransmissão dos dados quando ocorrerem colisões na transmissão.

O controle de acesso do canal de retorno é todo realizado pelo *CMTS*, que disponibiliza banda aos *CM's* para que esses possam fazer a transmissão de dados.

Para a realização do controle do canal, o *CMTS* envia através do canal de descida um pacote de dados, conhecido por *MAP (Upstream Bandwidth Allocation Map)*, com as informações de alocação de banda (*minislots*) para os *CM's* [10]. É ainda informado no pacote *MAP* um número de *minislots* destinados aos *CM's* para fazer a requisição de banda para a transmissão de dados.

Baseado nas requisições de banda e serviços dos *CM's*, o *CMTS* informa, através do *MAP*, a sequência de acesso que será disponibilizada para a próxima sequência de *minislots* do canal de retorno, evitando colisões na transmissão de dados.

A FIGURA 7 apresenta um diagrama representativo da utilização do MAP [9].



**FIGURA 7 – Exemplo de Diagrama de Alocação MAP**

O CMTS e os CM's devem realizar as seguintes funções para a comunicação na rede HFC:

- Compensar as diferentes perdas do cabo entre o CM e o CMTS. É essencial que os níveis de sinal do canal de retorno cheguem ao CMTS no mesmo nível.
- Compensar os diferentes atrasos provocados pela rede HFC. A grande distância geográfica em uma rede HFC afeta na transmissão dos dados quando os assinantes estão localizados muito distantes do cabeçal em relação aos assinantes próximos.

Para compensar as perdas dos cabos e atrasos na rede HFC, em consequência da distância, o protocolo MAC avalia os tempos de atraso e os níveis de sinais transmitidos para o cabeçal. Com estes dados é possível compensar os atrasos e as perdas, variando a largura de banda e o nível de sinal a ser transmitido.

O protocolo MAC suporta o sincronismo, alocação da largura de banda do CM para o controle do CMTS, a detecção e recuperação de erros e os procedimentos de registro dos CM's.

A especificação *BPI+* (*Baseline Privacy Interface Plus*) permite privacidade de dados sobre a rede de cabos. Esta privacidade é conseguida através da encriptação de dados entre *CM* e o *CMTS*. Além disso, permite ainda uma forte proteção contra furto de serviço para os operadores de cabo. O *BPI+* implementa um protocolo de controle da chave de autenticação entre cliente e servidor, no qual o *CMTS* controla a distribuição de chaves aos *CM* clientes [12].

### 1.3.3 TECNOLOGIA CABLE MODEM

O *Cable Modem* é um dispositivo que permite o acesso elevado de dados em alta velocidade, como na Internet, em uma rede *HFC* bidirecional ou unidirecional, neste último caso, o *CM* utilizará o acesso aos canais da banda de retorno através de uma linha telefônica convencional, ou mesmo via uma rede satélite ou *wireless*. O *CM* em uma rede bidirecional terá tipicamente duas conexões, uma à rede *CATV* e a outra a um computador. Existem três tipos de *CM*'s:

- *Cable Modem externo*: requer uma placa de rede, normalmente *Ethernet* 10Base-T, que deve ser instalada no computador do assinante. Mais de um computador pode ser conectado ao *modem*. É o tipo de *modem* mais comum e utilizado. Necessita de uma interface de dados para conexão com o computador. A maioria dos *Cable Modems* possui interfaces *Ethernet* e *USB* (*Universal Serial Bus*);
- *Cable Modem interno*: geralmente uma placa para conexão em barramento *PCI* (*Peripheral Component Interconnect*);
- *Set-top Box*: permite navegação na Internet diretamente na tela de uma televisão.



A velocidade de transmissão de dados do *CM* varia dependendo do sistema utilizado, arquitetura de rede e do carregamento do tráfego.

Através das portadoras digitais alocadas na banda de descida, entre as faixas de frequência de 88 e 860MHz, os *Cable Modems* recebem o tráfego de dados, que são modulados e transmitidos pelo cabeçal. Essas portadoras ocupam uma largura de banda de 6MHz para o padrão Norte-Americano e de 8MHz para o padrão Europeu [7], [8].

A TABELA 7 apresenta as características técnicas de um *CM* padronização DOCSIS Norte-Americano.

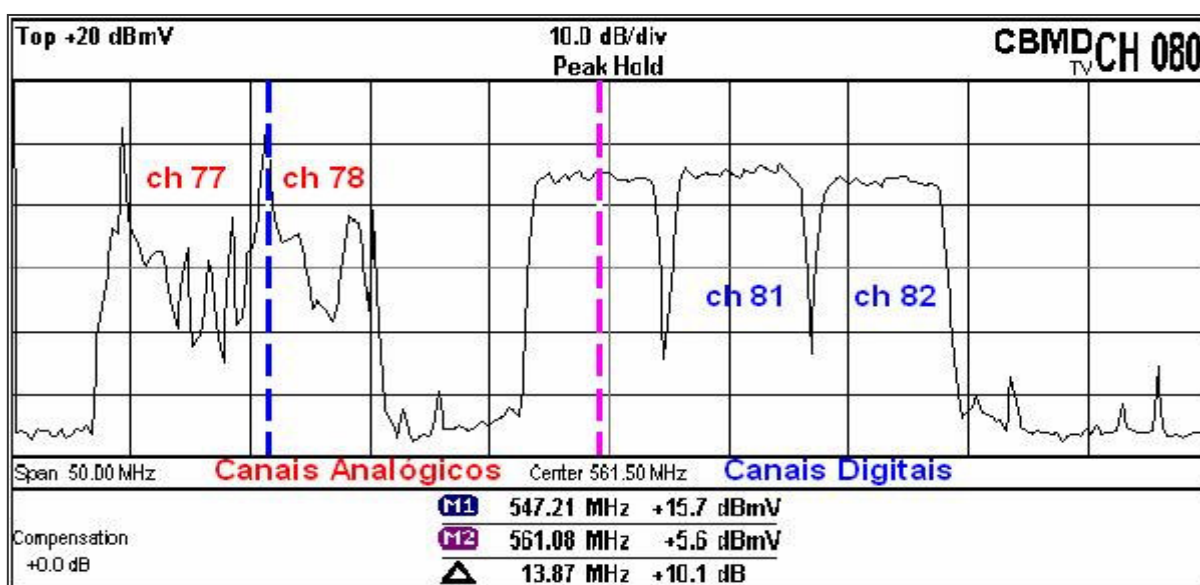
**TABELA 7 – Especificação Técnica de um Cable Modem DOCSIS**

Receptor	
Modulação	64 e 256 QAM
Taxa de transmissão por canal	30 e 43 Mbps
Largura de banda do canal	6 MHz
Faixa de frequência	88 a 860 MHz
Nível de entrada	-15 a +15 dBmV
Relação portadora/ruído	≥ 23,5 dB para 64 QAM
Para 10 <sup>-8</sup> BER	≥ 30 dB para 256 QAM
Transmissor	
Modulação	QPSK e 16 QAM
Acesso ao canal	TDMA
Taxa de transmissão por canal	320 kbps a 10,24 Mbps
Largura de banda do canal	200 kHz a 3,2 MHz
Faixa de frequência	5 a 42 MHz
Nível de saída	+8 a +58 dBmV

FONTE: TERAYON – Produtos Cable Modem Systems 2001.

Assim como em redes *Ethernet*, os dados alocados nos canais da banda de descida são enviados a todos os *CM's* da rede *HFC*. Cada modem filtra apenas os dados que lhe são destinados. Assim, a largura de banda de um canal de 6MHz é compartilhada por todos os usuários conectados na rede *HFC*. Devido ao fato das redes de *CATV* transmitirem as informações, de diversos sinais modulados, através de

um único meio físico, o espectro de frequências é dividido em faixas consecutivas, denominadas canais. Esta técnica é denominada de Multiplexação por Divisão em Frequência (*FDM-Frequency Division Multiplex*), na qual, mais de um canal com largura de banda de 6MHz poderá ser transmitido no mesmo meio físico, para o tráfego de informação de um determinado número de *CM*. A FIGURA 8 mostra a alocação das portadoras, analógicas e digitais, na banda de descida da rede *HFC*, caracterizando a técnica da Multiplexação por Divisão em Frequência.

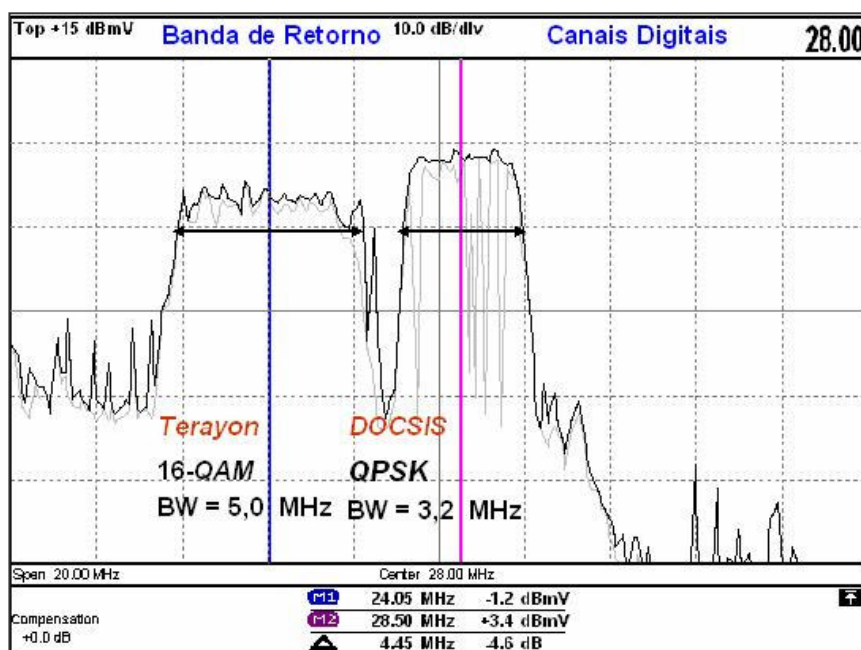


**FIGURA 8 – Multiplexação por Divisão em Frequência na banda de descida**

Os *CM*'s transmitem as informações dos assinantes até o cabeçal através de uma portadora digital modulada nos canais da banda de retorno. Essas portadoras poderão ser alocadas entre a faixa de frequência de 5 e 65MHz, dependendo do padrão adotado (Norte-Americano ou Europeu).

Analogamente a banda de descida, a banda de retorno também utiliza a técnica de Multiplexação por Divisão em Frequências. Nesse sentido, para a padronização *DOCSIS* cada canal possui largura de faixa que varia entre 0,2 e 3,2MHz, com modulação *QPSK* com 2 bits por símbolo, ou *16-QAM* com 4 bits por símbolo.

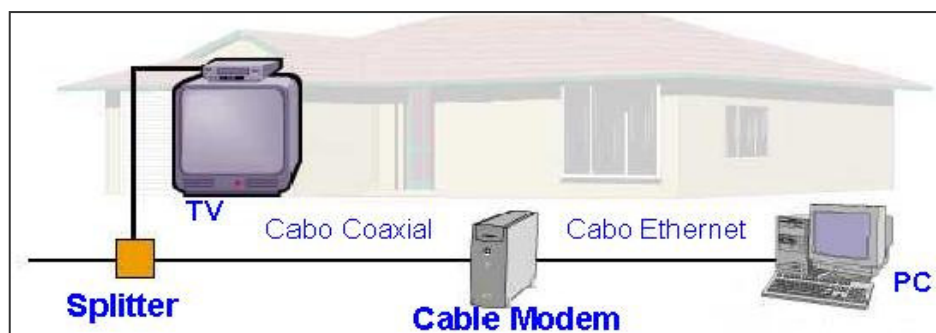
A FIGURA 9 mostra a alocação de duas portadoras digitais na banda de retorno. As mesmas são destinadas à utilização do sistema de transporte de dados da rede *HFC*. A portadora a esquerda representa a tecnologia de propriedade da Terayon e a direita, a tecnologia da padronização *DOCSIS*.



**FIGURA 9 – Multiplexação por Divisão em Frequência na banda de retorno**

As taxas de transmissão do *CM*, nos canais das bandas de descida e retorno, são flexíveis e podem ser configuradas dependendo da necessidade do assinante. Por exemplo, para fornecer um serviço de negócio para o assinante, o *CM* pode ser programado para receber e transmitir em uma largura de faixa mais elevada. O assinante recebe os serviços de televisão por assinatura simultaneamente com os serviços de dados através de um divisor de sinal *RF* denominado de *Splitter*, que é instalado internamente em seu domicílio. Os serviços oferecidos pelo *CM* poderão ser compartilhados por no máximo dezesseis usuários com *IP* (*Internet Protocol*) diferentes, através de uma rede local (*LAN - Local Area Network*).

A FIGURA 10 mostra a forma de como é instalado o CM do tipo externo nos assinantes.



**FIGURA 10 – Forma de Instalação do Cable Modem nos Assinantes**

#### 1.3.4 TERMINAÇÃO DO SISTEMA DE CABLE MODEM

No cabeçal, os sinais digitais provenientes dos assinantes, são demodulados e processados através do *CMTS*. O *CMTS* é o equipamento mais importante para sustentação dos serviços de dados sobre a rede *HFC*, integrando as comunicações dos canais das bandas de descida e retorno. O *CMTS* consiste de um sistema de chaveamento de dados (*Switch-Router*) projetado especialmente para distribuir as mensagens provenientes dos usuários sobre uma relação multiplexada da rede *HFC*.

O *CMTS* é composto por placas (*Slots*), nas quais são conectados os cabos de entrada da rede *HFC*, que correspondem ao sinal do canal de retorno, provenientes das diversas células da rede habilitadas para a utilização do serviço. Cada placa possui apenas uma saída de sinal para rede, que corresponde o canal do sentido direto.

Um *Cable Modem* e um *CMTS* possuem, internamente, um Modulador para transmissão e um Demodulador para recepção [10].

## 1.4 SISTEMA DE TELEVISÃO DIGITAL SOBRE REDES HFC

### 1.4.1 INTRODUÇÃO

A televisão é uma das últimas fronteiras digitais a serem rompidas. Desde a sua comercialização, no início do século XX, a televisão não sofreu grandes alterações em sua tecnologia, a não ser a inclusão do sistema tricromático. Por ser considerada bem de consumo, com grande penetração na população mundial, a televisão tende a apresentar mudanças lentas e sutis. No entanto, a estagnação do sistema analógico chegou ao seu ponto máximo, não sendo possível a inclusão de outras facilidades.

A introdução da transmissão digital de vídeo permite a disponibilização de um número de informações muito maior na mesma banda de frequência em relação a transmissão analógica, ou seja, em um único canal de vídeo analógico com 6MHz de largura de faixa é possível transmitir vários canais digitais.

Dentre os grandes motivadores para a migração para a digitalização do sistema de televisão analógica, está a possibilidade da implementação de diversos outros serviços agregados, tais como: diversos canais de música e vídeo, guia de programação, entre outros. Tais facilidades agregam valor ao produto final, criando dessa forma um diferencial aos operadores de televisão por assinatura.

O sistema de transmissão de televisão digital nas redes *HFC* foi a última grande implantação realizada pelas operadoras de TV a cabo no Brasil. Desde novembro de 2004 as principais operadoras no país, Net Serviços de Comunicações S.A e TVA, estão disponibilizando para seus assinantes os serviços de Televisão Digital. O padrão de transmissão adotado, por ambas as operadoras, foi o *DVB-C* (*Digital Video Broadcasting for Cable Systems*).

Nesta seção, pretende-se abordar um resumo da padronização *DVB-C* para transmissão de televisão digital sobre as redes *HFC*, bem como os aspectos mais relevantes sobre a tecnologia.

#### 1.4.2 PADRONIZAÇÃO DVB SOBRE REDES HFC

Fundado em 1993, o projeto *DVB* é um consórcio composto por mais de 260 companhias, fabricantes, operadores de rede, fornecedores de *software*, órgãos reguladores, distribuídos em 35 países, formando um comitê para o desenvolvimento de padrões globais para os serviços de televisão digital e serviços de dados.

As especificações do *DVB* estabelecem padrões abertos, incluindo transmissão digital por satélite, redes de TV a cabo e terrestres, de forma a garantir que sistemas similares consigam trabalhar em conjunto, independente de qual fabricante proveu o equipamento. O *DVB* também especifica os elementos do sistema de acesso condicional *CAS* (*Conditional Access System*), que habilita a criptografia de informação e a venda de serviços aos usuários de acordo com o que foi pago.

Desenvolvido por organizações européias, o padrão *DVB* foi adotado pela comissão européia, que apoiou o projeto financeiramente. As especificações também foram adotadas pelo *ETSI* (*European Telecommunications Standards Institute*) em uma diretiva que designa complacência para dispositivos relacionados e equipamentos.

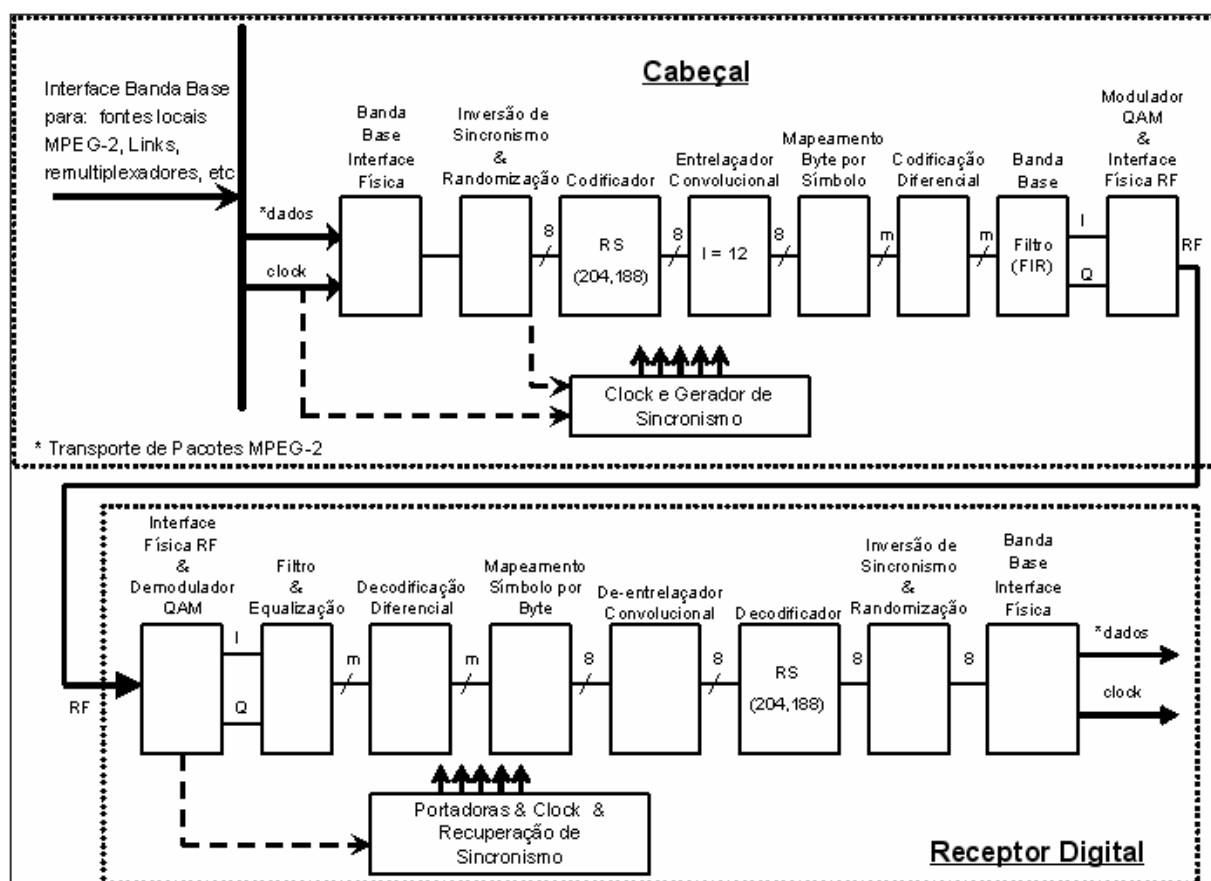
Em abril de 1998, o *ETSI* publica a especificação para distribuição de multiprogramação de televisão digital para um sistema de cabos, e desta forma, surgiu a referência para a padronização *DVB-C*, na qual estão descritas a estrutura dos quadros, a codificação de canal e modulação para uma rede de *CATV* [13].

A finalidade da especificação do documento *DVB-C* é apresentar um padrão de transmissão compatível com o satélite e cabo, baseado no sistema *MPEG-2*, com adição de apropriadas técnicas de correção de erros *FEC* (*Forward Error Correction*), designado a diminuir um *BER* de  $10^{-4}$  para um limite de  $10^{-10}$  e  $10^{-11}$ , utilizando o sistema de modulação *QAM* com 16, 32, 64, 128 e 256 níveis de quantização.

O sistema *DVB-C* é definido em blocos funcionais de equipamentos que executam a adaptação do sinal em banda base de televisão para a característica de um sistema em *CATV*.

Os dados de entrada do sistema são fluxos de informações de áudio e vídeo digital, denominado *Streams*, que são provenientes de diversas fontes, como por exemplo: fontes de programação local, satélites, etc. Os fluxos de informações serão transmitidos em uma ou mais portadoras digitais com modulação *QAM* até o receptor digital *IRD* (*Integrated Receiver Decoder*). Os *Streams* devem ser multiplexados de acordo com a especificação do sistema *MPEG-2* [13], ou seja, deve ser disponibilizado em um transporte do fluxo de bits, denominado *Transport Streams*.

A FIGURA 11 abaixo mostra a seqüência dos blocos funcionais do padrão *DVB-C* onde suas respectivas características estão descritas na Norma EN300 429-v1.2.1 do *ETSI* [13].



**FIGURA 11 – Diagrama em Blocos do Cabeçal e Receptor Digital DVB-C**

### 1.4.3 CARACTERÍSTICAS DA MODULAÇÃO NO PADRÃO DVB-C

O padrão *DVB-C* baseia-se na recomendação do *ITU-T* série J.83. A série J da recomendação trata da transmissão de televisão, programação de áudio e serviços de dados para distribuição via cabo [14]. A modulação utilizada no sistema *DVB-C* para o transporte da informação no sentido direto será a *QAM* com 16, 32, 64 níveis de quantização, podendo ser expandido para 128 e 256 níveis de quantização [13]. A TABELA 8 abaixo mostra os parâmetros das especificações do *ITU-T* série J.83 para os itens de modulação seguindo seus respectivos anexos.

**TABELA 8 – Especificação ITU-T J.83 para Modulação**

Item		Anexo B	Anexo A	Anexo C	Anexo D
Modulação	Largura de Banda	6 MHz	8 MHz	6 MHz	
	Constelação	64 ou 256 QAM	16, 32, 64-QAM	64-QAM	2, 4, 8, 16-VSB
	Fator Roll-off	18% ou 12% para 64 ou 256-QAM respectivamente.	15%	13%	11.5%

## 1.5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou, de forma resumida, a descrição da arquitetura de rede *HFC* bi-direcional para o transporte dos sinais digitais, compartilhados com os sinais analógicos, enfatizando as padronizações para o transporte de dados e televisão digital através das especificações *DOCSIS* e *DVB-C*.

Pode-se notar que com a união dos principais atores do segmento de TV a cabo, quais sejam, a indústria de equipamentos, os integradores de sistemas e as operadoras de rede, foram procuradas soluções cada vez mais interoperáveis, ou seja,



soluções através das padronizações para o transporte de informações. Sendo assim, permitiu-se o compartilhamento do canal de comunicação da rede *HFC* para o transporte de vídeo, dados e voz sobre a mesma plataforma de rede.

Além disso, a integração da infra-estrutura propicia a redução dos custos operacionais e gerenciais, aumentando o desempenho e flexibilidade da rede e, principalmente, a redução dos custos de implementação para novos serviços.

No próximo capítulo serão apresentadas as formulações necessárias para os cálculos dos principais parâmetros técnicos de qualidade de uma rede *HFC*, dando ênfase ao transporte dos sinais analógicos e digitais na banda passante do sentido direto. Ainda nesse capítulo serão caracterizados os parâmetros mínimos aceitáveis para o bom funcionamento, tanto no enlace óptico como no enlace coaxial.

## 1.6 REFERÊNCIAS

- [1] RIDLEY, John. et al. **Engenharia de Redes de CATV**. Apostila elaborada pela GENERAL INSTRUMENT. 1995. p.120.
- [2] ELWOOD-SMITH, Michael. **Does HFC have a viable future**. In: IEEE Colloquium, p. 8/1-8/8. out, 1998.
- [3] CICIORA, Walter. FARMER, James. LARGE, David. **Modern Cable Television Technology – Vídeo, Voice, and Data Communication**. Morgan Kauffman Series in Networking. San Francisco. 1999. p.873.
- [4] COLBY, Lee. **Modulation Error Ratio Specifications for QPSK and QAM Transmitters**. A White Paper Hewlett – Packars Corporation. Interactive Broadband Products. Cupertino. CA. 1996.
- [5] CHAPMAN, John T. **Multimedia Traffic Engineering for HFC Networks**. A White Paper on Data, Voice, and Video over IP. Cisco Systems.Inc San Jose. CA. 1999. p.75.

- [6] TZEREFOS, Polychronics. **On the Performance and Scalability of Digital Upstream DOCSIS 1.0 Conformant CATV Channels**. Sheffield, Inglaterra 1999. Tese (Doutorado na Área de Telecomunicações) - Department of Computer Science – University of Sheffield.
- [7] OSTERGAARD, Rolf V. **Cable Modem Tutorial**. 1998 – 2002. Disponível em: <<http://www.cable-modems.org/tutorial/index.htm>> Acessado em: 13 set. 2004.
- [8] CABLE DATACOM NEWS. **Overview of Cable Modem Technology and Services**. 1996 – 1999. Disponível em: <<http://www.cabledatacomnews.com/cmhc/cmhc1.html>> Acessado em: 20 out. 2004.
- [9] FELLOWS, David. JONES, Doug. DOCSIS Cable Modem Technology. **IEEE Communication Magazine**. vol. 39. p. 202-209, 2001.
- [10] CABLELABS. **DOCSIS Radio Frequency Interface Specification – SP-RFI-I05-991105**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos, 1999. Disponível em <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-RFIv1.1-I09-020830.pdf>>. Acesso em: 02 out 2004.
- [11] CABLELABS. **DOCSIS Operation Support System Interface Specification – SPOSSIv1.1-I05-020301**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos. Disponível em :<<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-OSSIv1.1-I06 20830.pdf>>. Acesso em: 12 out 2004.
- [12] CABLELABS. **DOCSIS Baseline Privacy Interface Plus – SPBPI+-I07-010829**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-OSSIv1.1-I06 20830.pdf>>. Acesso em: 12 out 2004.
- [13] ETSI. **DVB Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Cable Systems – EN 300 429–v1.2.1 (1998-04)**. European Telecommunications Standards Institute. Valbonne, França. Disponível em: <<http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>>. Acesso em: 26 nov 2004.
- [14] ITUT. **Digital Multi – Programme Systems for television, sound and data services for Cable Systems – ITUT Recommendation J.83**. Telecommunication Standardization Sector of ITU. 1997. p. 61.

## CAPÍTULO 2: CÁLCULO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DE QUALIDADE DA REDE HFC

---

*Este capítulo apresenta as formulações para os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade do canal de comunicação na banda de descida e na banda de retorno da rede HFC, destacando principalmente os parâmetros dos canais analógicos e digitais na banda do sentido direto.*

---

### 2.1 INTRODUÇÃO

Os parâmetros técnicos de qualidade de um sistema de rede em banda larga são usualmente definido em termos das distorções não desejadas e componentes de ruídos produzidos pela rede *HFC*, em que, seus efeitos afetam diretamente a qualidade dos serviços prestados.

No Brasil, todos os parâmetros técnicos de qualidade das redes de *CATV* surgem do serviço designado DISTV (Distribuição dos Sinais de Televisão por Meio Físico), que é regulamentado pela Portaria nº 250, de 13 de dezembro de 1989. O serviço de televisão a cabo, denominada Lei do Cabo, foi instituído pela Lei 8.977 de 06 de janeiro de 1995 [1].

Todas as especificações dos parâmetros técnicos de qualidade da rede de *CATV* são definidas pela Norma N° 13/96 – Rev/97, de 14 de abril de 1997. Esta norma regulamentou e estabeleceu as condições de prestação e uso do serviço e, também, os parâmetros técnicos mínimos que deverão ser atendidos pelos sistemas de TV a cabo. A regulamentação estabelece as medições relativas ao nível da portadora de vídeo analógico, porém, não estabelece nenhum parâmetro para a distribuição de sinais digitais. Então, faz-se necessário recorrer às recomendações americanas e européias, pois descreve os parâmetros mínimos aceitáveis na transmissão dos canais digitais.

## 2.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Primeiramente, antes de iniciar a apresentação das formulações para os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade do sistema, faz-se necessário tecer algumas observações sobre a caracterização dos principais problemas que afetam a qualidade da transmissão dos sinais analógicos e digitais na rede *HFC*.

### 2.2.1 RUÍDO TÉRMICO

Todo condutor elétrico, e conseqüentemente, os equipamentos eletrônicos, geram tensões e correntes elétricas, a partir do movimento dos elétrons livres, de forma a produzir um sinal aleatório indesejável que não contém informação. Esse sinal é denominado ruído térmico.

Para um sistema de distribuição de TV a cabo, a potência do ruído térmico, para uma largura de banda de 1Hz e com impedância característica de  $75\Omega$ , é de aproximadamente -125,18dBmV [3]. Esse valor pode ser determinado pela Equação (2.1) em  $\mu\text{V}$  e convertido para dBmV.

$$E_n = \sqrt{4 \cdot Z \cdot BW \cdot k_B \cdot T} \quad (2.1)$$

onde:

$E_n$ : tensão do ruído térmico ( $\mu\text{V}$ )

$Z$ : impedância característica do sistema ( $\Omega$ )

$BW$ : largura de banda de interesse (Hz)

$k_B$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Joule/K)

$T$ : temperatura absoluta em Kelvin (293,15 K) em condições ambiente

Com base no valor do ruído térmico em 1Hz ou através da Equação (2.1) é possível determinar o valor do piso de ruído (*Noise Floor*), que é caracterizado pela potência do ruído térmico ideal na largura de banda de interesse.

A largura de banda de interesse, para um sistema de TV a cabo, equivale à largura de banda útil de informação de um canal de televisão analógica, que corresponde a 4MHz. O valor típico do piso de ruído é aproximadamente -59,16dBmV [2], [3].

Nos equipamentos ativos, amplificadores de sinais da rede *HFC*, o ruído térmico está caracterizado pela figura de ruído (*NF - Noise Figure*), expresso em dB [2], [3], que é o parâmetro característico de cada amplificador. A figura de ruído é determinada pela medição na saída do amplificador, sem que nenhum sinal seja injetado em sua entrada, ou seja, é definida como sendo a razão entre as relações sinal-ruído na entrada e na saída do circuito.

## 2.2.2 DISTORÇÕES NÃO LINEARES

Todo circuito elétrico, ou seja, aquele que recebe energia de uma fonte externa para seu funcionamento, apresenta características de um circuito não-linear exibindo patamares de saturação devido à limitação física da fonte externa.

Quando múltiplos sinais são transmitidos através de um sistema de largura de banda limitada e aplicados nas entradas dos elementos ativos da rede *HFC*, tais como: transmissor óptico, receptores óticos e amplificadores de *RF*, irão aparecer nas suas saídas componentes espectrais noutras frequências designadas por produtos de intermodulação, denominado de distorções não-lineares.

No sistema de TV a cabo as principais distorções não-lineares são os produtos de intermodulações de segunda e terceira ordem, as quais são apresentadas como distorção de segunda ordem composta (*CSO – Composite Second Order*) e batimento composto de terceira ordem (*CTB – Composite Triple Beat*) [1], [2].

A norma brasileira especifica que a relação entre a portadora e os produtos de intermodulações, de segunda e terceira ordem, medida com portadoras não moduladas, deve ser de, no mínimo, 53dB para sistemas de canais não coerentes e 47dB para sistemas de canais coerentes [1].

O plano de canalização para o serviço de TV a cabo deverá estar de acordo com a norma brasileira, o qual especifica três tipos de planos como segue abaixo:

a) Plano de Frequência Padrão (PFP): é um plano de frequências baseado na canalização de televisão (canais 2-6 e 7-13), à qual se acrescentam canais com decréscimos de 6MHz abaixo do canal 7 (175,25MHz), correspondendo aos canais 14 a 22 e 95 a 99 [1]. Esse plano é classificado como sendo um sistema de canais não coerentes.

b) Plano de Frequências com Portadoras Harmonicamente Relacionadas (PHR): é um plano baseado em frequências portadoras de vídeo que são múltiplos inteiros de 6,0003MHz e que começa em 54MHz. Ele resulta em separação de frequências de -1,25MHz com relação aos canais do plano de frequências padrão, à exceção dos canais 5 e 6, nos quais a separação é de +0,75MHz [1]. Esse plano é classificado como sendo um sistema de canais coerentes.

c) Plano de Frequências com Portadoras Incrementalmente Relacionadas (PIR): é um plano baseado em frequências portadoras de vídeo a partir de 55,2625MHz, com incrementos de 6MHz por canal [1]. Esse plano é classificado como sendo um sistema de canais não coerentes devido ao fato de possuir alguns canais que não são múltiplos de 6MHz.

#### 2.2.2.1 RELAÇÕES GERAIS DAS DISTORÇÕES

Para um plano de frequência, onde a largura de banda de cada canal corresponde a 6MHz, muitos componentes de distorções coincidem com a mesma frequência nominal. O número de batimento em cima de uma frequência nominal irá depender do plano de canalização adotado, do número de portadoras do sistema e das fases.

Usualmente em um sistema de TV a cabo a forma de demonstrar o produto de intermodulação, em que se determina o número de batimentos de segunda e terceira ordem, em cima de cada frequência nominal, são respectivamente [2], [6], [7]:

$$\text{Segunda Ordem: } 2.f_1 \text{ ou } 2.f_2 \text{ e } f_1 \pm f_2 \quad (2.2)$$

$$\text{Terceira Ordem: } 3.f_1 ; f_1 \pm f_2 \pm f_3 ; 2.f_1 \pm f_2 \text{ ou } f_1 \pm 2.f_2 \quad (2.3)$$

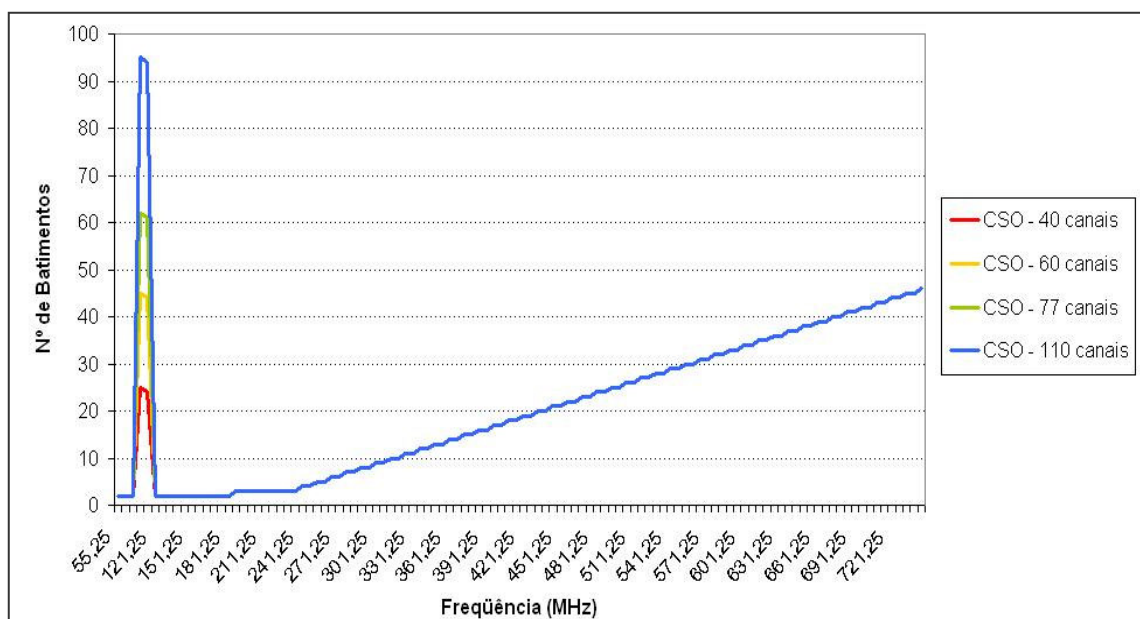
onde:  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_3$  são as frequências nominais das portadoras do sistema.

As frequências nominais das portadoras do sistema são arbitrárias e não necessariamente contíguas.

A FIGURA 12 mostra o gráfico da distribuição do número de batimentos de segunda ordem para os sistemas com largura de banda de 330MHz – 40 canais, 450MHz – 60 canais, 550MHz – 77 canais e 750MHz – 110 canais [02], [07], [08]. O plano de frequência representado na FIGURA 12 é do tipo padrão de vídeo analógico, com largura de faixa de 6MHz por cada canal de televisão.

Os batimentos de segunda ordem irão ocorrer em cima de cada canal de televisão por várias vezes, ou seja, através dos resultados obtidos das combinações entre duas portadoras.

Os resultados obtidos das várias combinações entre duas portadoras resultarão em harmônicas que irão coincidir com uma determinada portadora do plano de canalização, deslocadas a  $\pm 0,75\text{MHz}$  e a  $\pm 1,25\text{MHz}$ .



**FIGURA 12 – Distorção de 2ª Ordem Composta**

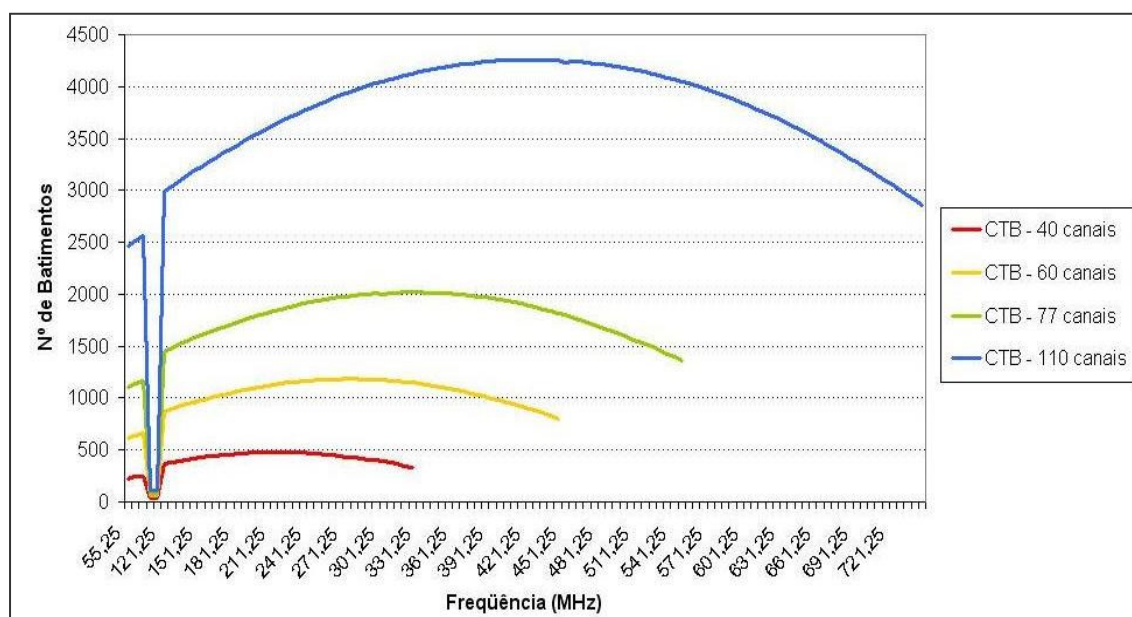
O maior número de batimentos de segunda ordem ocorre a  $\pm 0,75\text{MHz}$ , para o plano de frequência padrão com largura de banda de 6MHz, nos canais 5 e 6 [2]. Para um plano de frequências com portadoras incrementalmente relacionadas, a distorção de segunda ordem composta irá ocorrer somente a  $\pm 1,25\text{MHz}$  sobre ou abaixo da portadora de luminância de um determinado canal [2].

O efeito da distorção de segunda ordem na tela de uma televisão são barras diagonais correndo lentamente.

A FIGURA 13 mostra o gráfico da distribuição do número de batimentos de terceira ordem para os sistemas com largura de banda de 330MHz – 40 canais, 450MHz – 60 canais, 550MHz – 77 canais e 750MHz – 110 canais [2], [6], [7]. O plano de frequência representado na FIGURA 13 é do tipo padrão de vídeo analógico, com largura de faixa de 6MHz por cada canal de televisão.

Os batimentos de terceira ordem irão ocorrer em cima de cada canal de televisão por várias vezes, ou seja, através dos resultados obtidos das combinações entre três portadoras.

Os resultados obtidos das várias combinações entre três portadoras resultarão em harmônicas que irão coincidir exatamente em cima da frequência nominal da portadora.



**FIGURA 13 – Batimento Composto de 3ª Ordem**



Tipicamente o batimento composto de terceira ordem degrada o sinal aproximadamente 2dB para cada 1dB no aumento do nível do sinal na entrada dos amplificadores. Para a distorção composta de segunda ordem, a degradação é aproximadamente 1dB para cada 1dB no aumento do nível do sinal [2].

### 2.2.3 REFLEXÕES E ATRASO DE GRUPO

Em uma rede *HFC*, na parte coaxial, poderão ocorrer várias reflexões devido aos números de canais a serem transmitidos por múltiplos caminhos da rede. Essas reflexões poderão ocasionar a degradação da propagação dos sinais, analógicos ou digitais, antes que eles cheguem à casa dos assinantes. As reflexões são medidas relativas do sinal transmitido e do sinal recebido, as quais são chamadas de “ecos” [2].

As reflexões sobre os sinais de televisão analógica provocam o efeito denominado de “fantasma”, no qual a imagem é deslocada horizontalmente da imagem principal por uma quantidade proporcional ao tempo de atraso e do sinal refletido.

Para um sistema de televisão analógica PAL-M, padrão brasileiro, que possui 525 linhas para formação de cada quadro (30 quadros por segundo), o tempo de varredura horizontal é de 63,5μs, onde 11μs são utilizados para o sincronismo horizontal e intervalo de apagamento, restando 52,5μs destinados para imagem.

Assumindo uma única reflexão com um tempo menor que 50μs, esse tempo de atraso poderá ser estimado pela multiplicação da porcentagem do deslocamento da imagem por 50μs. Por exemplo, se a imagem provocar um deslocamento de 25% da imagem principal, o tempo de atraso é aproximadamente 12,5μs. Sua amplitude poderá ser determinada pela Equação (2.4) em dB.

$$Eco = 20 \cdot \log \left( \frac{A_{ref}}{100} \right) \quad (2.4)$$

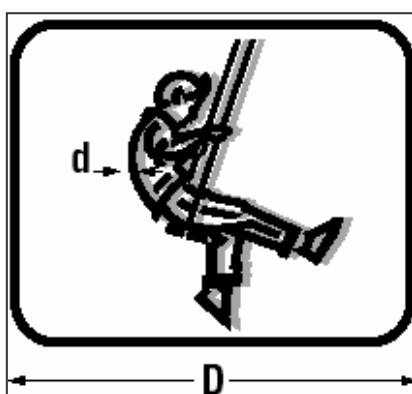
onde:  $A_{ref}$  é o percentual do deslocamento do sinal principal (%).

Os efeitos mais comuns da duplicação da imagem nos sinais de televisão

analógica na rede *HFC* são caracterizados por dois efeitos. O primeiro corresponde ao efeito da duplicação da imagem original deslocada para a esquerda, em que é caracterizada pelo problema de ingresso de sinal externo na rede *HFC*.

Os problemas de ingresso geralmente estão associados aos problemas de blindagem eletromagnética dos vários elementos de rede, como por exemplo, fechamento incorreto dos elementos ativos e passivos e conexões soltas.

O segundo corresponde ao efeito da duplicação da imagem original deslocada para a direita, em que é caracterizada pelo problema de descasamento de impedância da rede. Este geralmente está associado aos problemas de deformação dos cabos coaxiais e dispositivos com baixa perda de retorno. A FIGURA 14 caracteriza o problema, em que aparece uma outra imagem na tela da televisão deslocada à direita da imagem principal [7].



**FIGURA 14 – Efeito da Duplicação da Imagem Deslocada para Direita**

Com o objetivo de localizar a distância de um determinado problema de duplicação da imagem na rede coaxial, no caso da FIGURA 14 deslocada para direita, poderá ser utilizado a Equação (2.5), em metros [6].

$$\chi = \left( d \cdot V_{pc} \cdot c \cdot \frac{t_h}{2} \right) \div (D \cdot 2,54) \quad (2.5)$$

onde:

$\chi$ : distância entre a fonte de reflexão e a re-reflexão (m)

$d$ : distância do deslocamento da imagem no aparelho de televisão (cm)

$D$ : largura horizontal do tubo de imagem do aparelho de televisão (in)

$V_{pc}$ : coeficiente da velocidade de propagação do sinal no cabo coaxial (0,87)

$c$ : velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$t_h$ : tempo da varredura da linha horizontal da imagem na televisão (52,5 $\mu$ s)

Nas imagens demoduladas digitalmente as degradações provocadas pelas reflexões não são visualmente perceptíveis nas imagens, como ocorre com as degradações nas imagens demoduladas analogicamente, porém, seu efeito resulta na perda de sincronismo nos receptores e conseqüentemente perda da imagem. As não correções das degradações na rede *HFC* provocarão o efeito de interferências intersimbólicas nos sinais digitais, fazendo com que o sinal fique mais susceptível a erros no processo de decodificação [2].

Para minimizar o efeito da degradação por reflexões nos sinais digitais, os receptores poderão utilizar equalizadores adaptativos lineares. O efeito da degradação por reflexões fora da variação dos tempos dos equalizadores adaptativos lineares nos receptores é percebido como um ruído adicional e causa degradação na relação sinal-ruído (*SNR- Sinal to Noise Ratio*) [2].

Se o atraso no tempo das reflexões, provocadas pelos múltiplos caminhos da rede *HFC*, forem além do estabelecidos pelos equalizadores adaptativos nos receptores digitais, então os equalizadores não poderão corrigir os efeitos das interferências intersimbólicas. Neste caso um analisador de espectro poderá ser utilizado para caracterizar os múltiplos caminhos do sinal digital.

Na presença de ruído *AWGN (Additive White Gaussian Noise)*, o espectro do sinal digital é essencialmente plano na maior da parte da largura de banda da taxa de símbolos. Porém, na presença de reflexões, interferências construtivas e destrutivas dos caminhos refletidos irão provocar ondulações na planicidade do espectro do sinal

digital. O tempo de atraso, para uma única reflexão, poderá ser estimada através do inverso da medida em frequência do espaçamento entre as ondulações no analisador de espectro. Sua amplitude abaixo do sinal transmitido poderá ser estimada através da Equação (2.6), em dB [2].

$$EM = 20 \cdot \log \left( \frac{10^{\Delta_{pp}/20} - 1}{10^{\Delta_{pp}/20} + 1} \right) \quad (2.6)$$

onde:  $\Delta_{pp}$  é a medida da variação da amplitude do sinal digital em dB (pico-vale) no analisador de espectro.

Outro importante parâmetro relacionado é o atraso de grupo (*group delay*), no qual, as várias frequências propagam-se através dos vários componentes da planta da rede *HFC*. Esses componentes poderão variar a fase na rede, na qual, os sinais analógicos e digitais de uma frequência podem se atrasar ou se adiantar em relação a outras, provocando desta forma a degradação do sinal.

As causas mais típicas do atraso de grupo em uma rede *HFC* são: passagem do sinal por filtros *diplexers* e descasamento de impedância. Até certo limite, mostrado na TABELA 9 os atrasos de grupos poderão ser corrigidos através de equalização adaptativa linear [2].

Para os sinais analógicos de televisão o atraso de grupo poderá causar problemas de sincronismo entre crominância e luminância, já que a frequência da subportadora de crominância é 3,58MHz acima da portadora de luminância. O efeito visual é a cor fora dos traços de contorno do objeto.

Para sinais digitais o efeito pode ser uma má interpretação dos símbolos transportados pela portadora digital. O efeito na rede é que, pulsos de pequena duração podem transformar-se em pulsos de longa duração o que causará taxa de erro elevada e conseqüentemente a degradação do sinal.

O termo *GDV* (*Group Delay Variation*) representa a variação do atraso de grupo que é a máxima variação em uma determinada largura de banda, ou seja, é a resposta em frequência do canal de descida ou retorno da rede *HFC*, que é representado por um *ripple* (ondulações) em amplitude (relação pico-vale). Isso significa que sinais de uma determinada frequência são atenuados de maneira diferente em relação a outras.

Para uma rede *HFC* com  $N$  amplificadores em cascata, o *GDV* total por um determinado canal será a soma do *GDV* de cada amplificador do enlace [02]. Para uma única reflexão dominante, o máximo de *GDV* na banda poderá ser aproximado como mostrado na Equação (2.7) em  $\mu\text{s}$  [2].

$$GDV = 2 \cdot \tau \cdot 10^{-r/20} \quad (2.7)$$

onde:  $\tau$  é tempo de atraso do sinal refletido, em  $\mu\text{s}$  e  $r$  é a amplitude da reflexão em dB.

A TABELA 9 abaixo mostra a potência máxima de reflexão e seus respectivos atrasos para as bandas de descida e retorno da padronização *DOCSIS* 1.1 para uma única reflexão [2], [8].

**TABELA 9 – Parâmetros da Especificação *DOCSIS* para Micro-Reflexões**

<b><i>Parâmetros</i></b>	<b><i>Banda de Descida</i></b>	<b><i>Banda de Retorno</i></b>
Atraso de Grupo ( <i>ripple</i> )	75 ns / ( $BW = 6\text{MHz}$ )	200 ns / ( $BW = 1\text{MHz}$ )
Micro Reflexões (único eco)	- 10 dBc @ $\leq 0.5 \mu\text{s}$	- 10 dBc @ $\leq 0.5 \mu\text{s}$
	- 15 dBc @ $\leq 1.0 \mu\text{s}$	
	- 20 dBc @ $\leq 1.5 \mu\text{s}$	- 20 dBc @ $\leq 1.0 \mu\text{s}$
	- 30 dBc @ $> 1.5 \mu\text{s}$	- 30 dBc @ $> 1.0 \mu\text{s}$

Tipicamente para se determinar resposta em frequência de um sistema de TV a cabo, onde a rede *HFC* possui  $N$  amplificadores em cascata, poderá ser utilizada a relação pico-vale (*PV – Peak to Valley Deviation*), demonstrada através da Equação (2.8), em dB [6], [7].

$$PV = \frac{n}{10} + x \quad (2.8)$$

onde:  $n$  é o número de amplificadores em cascata e  $x$  é a figura linear fornecida pelo fabricante.

Por exemplo, a rede *HFC* existente e considerada neste trabalho, possui uma cascata máxima de 5 amplificadores. Considerando que cada amplificador possui uma resposta em frequência de  $\pm 0.5\text{dB}$ , a relação pico-vale esperada na parte coaxial é de  $1.5\text{dB}$ . Considerando que o receptor óptico (Node Óptico), que corresponde a parte do conversor óptico-elétrico mais a parte do amplificador de *RF*, possui uma resposta em frequência de  $\pm 0.85\text{dB}$ , então pode-se esperar uma relação pico-vale de  $3.2\text{dB}$  no final da cascata.

Os valores da resposta em frequência dos amplificadores mostrados nesse exemplo são referenciados para banda de descida.

### 2.3 CÁLCULO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DA REDE HFC

Esta seção possui como principal objetivo analisar os parâmetros técnicos de qualidade do sinal transmitido na rede *HFC* existente, em relação ao carregamento do plano de frequência na banda de descida. Para a banda de retorno, será realizada apenas uma breve abordagem.

### 2.3.1 ENLACE ÓPTICO DA REDE HFC

Um dos principais parâmetros de qualidade do enlace óptico é a relação portadora-ruído (*CNR – Carrier-to-Noise Ratio*) entre os transmissores e receptores ópticos. Os Transmissores ópticos mais utilizados em uma rede *HFC*, para a transmissão dos canais no sentido direto, são do tipo *DFB (Distributed Feedback)* e para a transmissão dos canais no sentido reverso o *FP (Fabry-Perot)*. Nos receptores ópticos, que são os fotodetectores, as redes *HFC* utilizam fotodiodos do tipo PIN.

#### 2.3.1.1 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO TRANSMISSOR ÓPTICO

O ruído de intensidade relativa (*RIN – Relative Intensity Noise*), produzido por um laser, é causado pela emissão espontânea dos fótons. A Equação (2.9) mostra como poderá ser determinada a relação portadora-ruído de um laser, em dB [2], [5], [6].

$$CNR_{RIN} = 20 \cdot \log(m) - 10 \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B_{ruído}}{10^{-6}}\right) - (RIN) \quad (2.9)$$

onde:

$m$ : índice de modulação óptica por canal (decimal)

$B_{ruído}$ : medida da largura de banda de interesse do ruído (MHz)

$RIN$ : ruído de intensidade relativa do transmissor laser (dB/Hz)

Para um sistema de TV a cabo, em que cada canal possui uma largura de banda de 6MHz, o valor de  $B_{ruído}$  será igual a 4MHz. O valor típico de  $RIN$  para um laser *DFB* é de -160dB/Hz e para um laser *FP* seu valor é -140dB/Hz [5], [6].

### 2.3.1.2 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO AMPLIFICADOR ÓPTICO

O ruído de um amplificador óptico (*EDFA- Erbium Doped Fiber Amplifier*) é também produzido pela emissão espontânea dos fótons. A Equação (2.10) mostra como poderá ser determinada a relação portadora-ruído de um amplificador óptico  $CNR_{EDFA}$ , em dB [2], [6].

$$CNR_{EDFA} = 10 \cdot \log(2,514 \cdot 10^{24} \cdot \lambda) + 10 \cdot \log\left(\frac{Po_{IN}}{10^3}\right) + 20 \cdot \log(m) - 10 \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B_{ruído}}{10^{-6}}\right) - NF \quad (2.10)$$

onde:

$\lambda$ : comprimento de onda do laser (m)

$Po_{IN}$ : potência óptica na entrada do amplificador óptico (mW)

$m$ : índice de modulação óptica por canal (decimal)

$B_{ruído}$ : medida da largura de banda de interesse do ruído (MHz)

$NF$ : figura de ruído do amplificador (dB)

### 2.3.1.3 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO RECEPTOR ÓPTICO

Nos receptores ópticos, que são os fotodetectores, a relação portadora-ruído está associada a dois principais mecanismos na geração de ruído quando um sinal óptico é convertido em corrente elétrica através de um fotodiodo.

O primeiro mecanismo é denominado de ruído de disparo (*shot-noise*), o qual está relacionado ao ruído quântico fundamental, que é devido à geração aleatória de pares elétrons-buracos quando o fotodetector recebe a incidência de um fluxo aleatório de fótons [2], [6], [10].

A geração da fotocorrente é proporcional à potência do sinal óptico incidente no fotodiodo, onde o fator de proporcionalidade  $\rho$  é chamado de “Responsividade” do fotodetector, o qual representa uma função de transferência que relaciona a resposta do componente com a excitação vinda do sinal óptico externo, em A/W [2], [6] [10].



O fator de proporcionalidade  $\rho$  poderá ser determinado através da Equação (2.11), em A/W [2], [6], [10].

$$\rho = \left( \frac{\eta \cdot q \cdot \lambda}{h \cdot c} \right) \quad (2.11)$$

onde:

$\eta$ : eficiência quântica do fotodetector (decimal)

$q$ : carga do elétron ( $1,60219 \times 10^{-19}$  Coulombs)

$\lambda$ : comprimento de onda do laser (m)

$h$ : constante de Planck's ( $6,63 \times 10^{-34}$  Joule.s)

$c$ : velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

Se a eficiência quântica  $\eta$  for constante para todos os comprimentos de onda, a Equação (2.11) indica que a responsividade crescerá linearmente com  $\lambda$ . Nos dispositivos reais, a eficiência quântica é dependente do comprimento de onda da irradiação.

Para o silício intrínseco, por exemplo, a eficiência quântica é da ordem de 80% para o comprimento de onda entre 850nm a 900nm, que significa uma responsividade de 0,5A/W, apropriado para primeira janela de transmissão em fibra óptica. Para o germânio, o valor máximo de responsividade acontece com um comprimento de onda próximo de 1300nm, adequado para a segunda janela. Para os compostos em que se têm as combinações de InGaAs, as melhores eficiências situam-se entre 1400nm e 1600nm, apropriado para a terceira janela de baixa perda em fibra óptica [10].

Tanto o InGaAs e ou Ge possuem alta eficiência quântica na região de 1300nm e 1550nm, que para o dimensionamento da rede HFC, que utilizam esses dispositivos, pode-se assumir um valor típico para eficiência quântica de 85% [2].

A Equação (2.12), em dB, mostra como poderá ser determinada a relação portadora-ruído de disparo do receptor óptico [2], [6].

$$CNR_{disparo} = 10 \cdot \log(6,25 \cdot 10^{18} \cdot \rho) + 20 \cdot \log(m) + 10 \cdot \log\left(\frac{Po_{IN}}{10^3}\right) - 10 \cdot \log\left(4 \cdot \frac{B_{ruído}}{10^{-6}}\right) \quad (2.12)$$

onde:

$\rho$ : responsividade do fotodetector (A/W)

$m$ : índice de modulação óptica por canal (decimal)

$Po_{IN}$ : potência óptica na entrada do fotodetector (mW)

$B_{ruído}$ : medida da largura de banda de interesse do ruído (MHz)

O segundo mecanismo está associado ao ruído térmico, no qual os movimentos dos elétrons livres geram um sinal aleatório indesejado. O ruído térmico do amplificador, imediatamente seguindo o fotodetector, é caracterizado pela corrente equivalente ao ruído térmico  $i_n$ , em que possui dimensões de  $\text{pA.Hz}^{-1}$ . Essa corrente poderá ser determinada através da Equação (2.13), em  $\text{pA.Hz}^{-1}$  [2].

$$i_n = \sqrt{\frac{4 \cdot k_B \cdot T \cdot NF}{R_L}} \quad (2.13)$$

onde:

$k_B$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  Joule/K)

$T$ : temperatura absoluta em Kelvin (293,15K) em condições ambiente

$NF$ : figura de ruído do amplificador (dB)

$R_L$ : impedância da carga do sistema ( $\Omega$ )

Um valor típico da corrente equivalente do ruído térmico  $i_n$  é na ordem de  $7,0 \text{ pA.Hz}^{-1}$ , para um amplificador que utiliza GaAsFET no estágio de entrada [6].

A Equação (2.14), em dB, mostra como poderá ser determinada a relação portadora-ruído térmico dos receptores ópticos [6].

$$CNR_{térmico} = 20 \cdot \log(m) + 20 \cdot \log(\rho) + 20 \cdot \log\left(\frac{Po_{IN}}{10^3}\right) - 10 \cdot \log\left(2 \cdot \frac{B_{ruído}}{10^{-6}}\right) - 20 \cdot \log(i_n) \quad (2.14)$$

onde:

$m$ : índice de modulação óptica por canal (decimal)

$\rho$ : responsividade do fotodetector (A/W)

$P_{OIN}$ : potência óptica na entrada do fotodetector (mW)

$B_{ruído}$ : medida da largura de banda de interesse do ruído (MHz)

$i_n$ : corrente equivalente ao ruído térmico do amplificador (A.Hz<sup>-1</sup>)

#### 2.3.1.4 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO DO ENLACE ÓPTICO

A relação portadora-ruído do enlace óptico poderá ser determinada através da combinação dos resultados das equações (2.9), (2.10), (2.12) e (2.14). Essa combinação poderá ser descrita conforme a Equação (2.15), em dB.

$$CNR_{opt} = 10 \cdot \log \left[ 10^{-\left(\frac{CNR_{RIN}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{CNR_{EDFA}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{CNR_{disparo}}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{CNR_{térmico}}{10}\right)} \right] \quad (2.15)$$

#### 2.3.1.5 ÍNDICE DE MODULAÇÃO ÓPTICA

O índice de modulação (*OMI – Optical Modulation Index*) é a medida da profundidade de modulação de um sinal de *RF* sobre a portadora óptica, ou seja, é o grau de modulação da portadora óptica devido a um sinal de *RF* na entrada do transmissor. Na transmissão em amplitude modulada, a corrente do sinal de *RF* é adicionada a corrente contínua (*DC – Direct Current*) de polarização do laser. A saída óptica do transmissor óptico é então modulado proporcionalmente à corrente de modulação [5], [6].

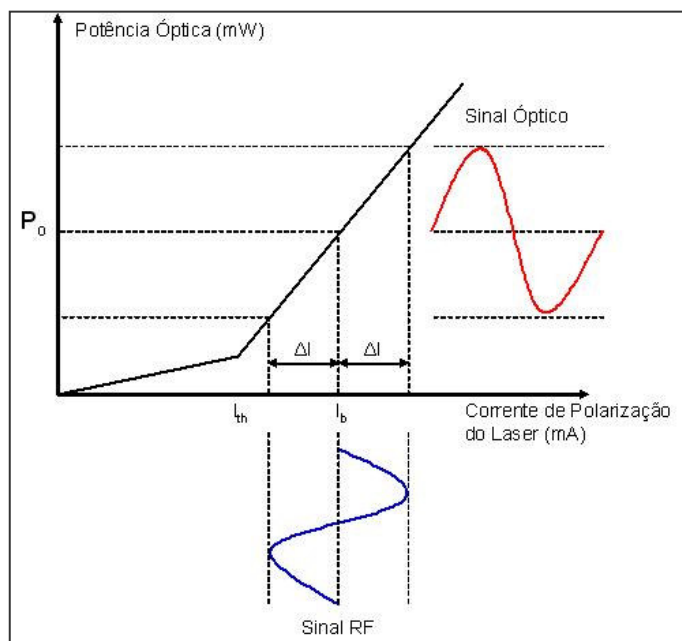
O índice de modulação óptica é proporcional à raiz quadrada do número de canais que modulam o laser. Um alto índice de modulação significa uma relação sinal-ruído *SNR* elevada na saída do transmissor. Porém, existe um compromisso entre o índice de modulação óptica e as distorções. Essa relação limita o número máximo de

canais possíveis de serem transmitidos. Para lasers semicondutores modulados diretamente, normalmente o índice de modulação óptica fica em torno de 25% e 50%.

Apesar de alguns lasers apresentarem boas características lineares obtendo índices em torno de 60%, a sobremodulação do dispositivo por curtos períodos de tempo resulta eventualmente na destruição do mesmo. Portanto, deve existir um compromisso entre as distorções e o desempenho do sistema em termos de *CNR* [11].

Para prevenir as distorções do sinal óptico de saída, a modulação deve ser confinada na região linear de operação do laser semiconductor [11]. Se  $\Delta I > I_b$ , a porção inferior do sinal óptico será grampeada, ocasionando distorções ao sistema.

A FIGURA 15 mostra a representação gráfica da curva de transferência característica de um laser.



**FIGURA 15 – Representação Gráfica da Curva de Transferência do Laser**

Através da FIGURA 15 é definido o índice de modulação óptica como sendo a razão entre a variação da corrente  $\Delta I$  do sinal de *RF* sobre o ponto de polarização e a corrente de modulação óptica  $I_{MOD}$ , que corresponde a diferença entre a corrente de polarização  $I_b$  e a corrente de limiar  $I_{th}$  [11]. A Equação (2.16) descreve o índice de modulação óptica por canal, em % [5], [6].

$$m = \frac{I_{RF}}{I_{MOD}} \quad (2.16)$$

onde:  $I_{RF}$  é a corrente *rms* efetiva do sinal de *RF* na entrada do laser em mA.

A corrente *rms* (*root mean squared*) efetiva do sinal de *RF* na entrada do transmissor, poderá ser definida através da Equação (2.17), em mA, como sendo [5], [6].

$$I_{RF} = \sqrt{2} \cdot \frac{V_{RF}}{Z} \cdot k = \sqrt{2} \cdot \frac{10 \cdot \log(V_{RF})^2}{Z} \cdot k = \sqrt{2} \cdot \frac{10^{\left(\frac{Ain_{RF}}{20}\right)}}{Z} \cdot k \quad (2.17)$$

onde:

$Ain_{RF}$ : nível do sinal de *RF* na entrada do transmissor óptico (dBmV)

$Z$ : impedância característica do sistema ( $\Omega$ )

$k$ : fator de partida do laser

Para o sistema de *CATV* a impedância característica é  $75\Omega$ .

A corrente de modulação óptica poderá ser representada através da Equação (2.18), em termos da eficiência da curva de transferência característica do laser  $\varepsilon$  (*Slope Efficiency*), no qual é definido como sendo uma quantidade de potência óptica na saída do transmissor por uma quantidade de corrente de polarização acima da corrente de limiar [5], [6]. Por exemplo, se um laser possui uma corrente de limiar  $I_{th}$  de 10mA e uma eficiência de inclinação  $\varepsilon$  de 0,05mW/mA, então para uma corrente de polarização  $I_b$  de 20mA, resultaria numa potência óptica de saída de 0,5mW.

$$I_{MOD} = \frac{Po_{out}}{\varepsilon} \quad (2.18)$$

onde:

$Po_{out}$ : potência óptica de saída do transmissor (mW)

$\varepsilon$ : eficiência de inclinação da curva de transferência característica do laser

Através das Equações (2.17) e (2.18) o índice de modulação óptica por canal, representado pela Equação (2.16), poderá ser reescrito como mostrado pela Equação (2.19), em decimal, o qual relaciona a notação em %.

$$m = \frac{\sqrt{2} \cdot 10^{\left(\frac{Ain_{RF}}{20}\right)} \cdot k \cdot \varepsilon}{Po_{out} \cdot Z} \quad (2.19)$$

onde:

$Ain_{RF}$ : nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico (dBmV)

$Po_{out}$ : potência óptica de saída do transmissor (mW)

$k$ : fator de partida do laser

$Z$ : impedância característica do sistema ( $\Omega$ )

$\varepsilon$ : eficiência de inclinação da curva de transferência característica do laser

Para o sistema de  $CATV$  a impedância característica é  $75\Omega$ .

A Equação (2.19) mostra que o índice de modulação óptica  $OMI$  por canal é proporcional à eficiência de inclinação da curva de transferência característica do laser e ao nível de sinal de  $RF$  na entrada do transmissor [5], [6].

Se  $k$  e  $\varepsilon$  são desconhecidos, o índice de modulação óptica  $OMI$  por canal poderá ser calculado quando é conhecida a responsividade  $\rho$  do receptor óptico, então a Equação (2.19) poderá ser reescrita em termos do fotodetector, como é mostrado através da Equação (2.20), em decimal, o qual relaciona a notação em %. [5], [6].

$$m = \frac{\sqrt{2} \cdot 10^{\left(\frac{Aout_{RF}}{20}\right)}}{Po_{in} \cdot Z \cdot \rho} \quad (2.20)$$

onde:

$Aout_{RF}$ : nível do sinal de  $RF$  na saída do receptor óptico (dBmV)

$Po_{in}$ : potência óptica de entrada do receptor óptico (mW)

$k$ : fator de partida do laser

$Z$ : impedância característica do sistema ( $\Omega$ )

$\varepsilon$ : eficiência de inclinação da curva de transferência característica do laser

Para um sistema com  $N$  portadoras, que é o caso do sistema de tv a cabo, o índice de modulação óptica por canal poderá ser determinado através da Equação (2.21), em % [6].

Na Equação (2.21) o nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico é o nível máximo de uma única portadora para 100% de  $OMI$ . Esse valor, em dBmV, é obtido no catálogo do fabricante do transmissor óptico.

$$m = 10 \left[ - (Ain_{RF} - Ain_{RF\_canal}) / 20 \right] \times 100 \quad (2.21)$$

onde:

$Ain_{RF}$ : nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico (dBmV)

$Ain_{RF\_canal}$ : nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico por canal (dBmV)

O nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico por canal poderá ser determinado através da Equação (2.22), em dBmV.

$$Ain_{RF\_canal} = Ain_{RF} - 10 \cdot \log(N) \quad (2.22)$$

onde:

$Ain_{RF}$ : nível do sinal de  $RF$  na entrada do transmissor óptico (dBmV)

$N$ : número de portadoras do sistema

### 2.3.2 ENLACE COAXIAL DA REDE HFC

Os parâmetros técnicos de qualidade dos sinais transmitidos nas redes de TV a cabo estão definidos na Lei do Cabo 8.977, em que estabelece os requisitos mínimos aceitáveis para a distribuição dos sinais analógicos com qualidade até os assinantes. Os principais parâmetros técnicos de qualidade do sinal transmitido, segundo a Norma N° 13/96, são apresentados através da TABELA 10 [1].

**TABELA 10 – Parâmetros Técnicos da Rede CATV – Norma N° 13/96**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
<b>Nível da Portadora de Vídeo:</b>	
→ Saída do Terminal do Assinante	0 dBmV
→ Extremidade do Cabo de Atendimento @ 30 m	+3 dBmV
→ Máxima Variação entre Canais Adjacentes	3 dB
→ Máxima Variação entre qualquer Canal @ 550 MHz	13 dB
<b>Nível do Sinal de Áudio:</b>	
→ Relação Áudio / Vídeo	-13 e -17 dB
Resposta de Frequência por Canal entre 0,75 a 5,0 MHz	± 2 dB
Relação Portadora – Ruído (C/N) mínimo	45 dB
Relação Portadora – Modulação Cruzada (C/XMOD) mínimo	<sup>(1)</sup> 53 dB
Distúrbios de Baixa Frequência	3%
Relação Portadora – Distorção de 2ª Ordem Composta (C/CSO) mínimo	<sup>(2)</sup> 53 dB
Relação Portadora – Batimento Composto de 3ª Ordem (C/CTB) mínimo	<sup>(3)</sup> 53 dB

Nota:

- (1) Valor de referência quando o sistema está operando em capacidade plena.
- (2) 53dB para sistema de canais não coerentes e 47dB para sistema de canais coerentes.
- (3) 53dB para sistema de canais não coerentes e 47dB para sistema de canais coerentes.

Esta seção provê as fórmulas para dimensionar o enlace de *RF* de uma rede *HFC*, sendo especificadas para os canais no sentido direto. Para o sentido reverso serão feitas breves considerações.

#### 2.3.2.1 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO NA BANDA DE DESCIDA

A relação portadora-ruído é definida como sendo a medida entre a potência de um sinal senoidal cujo pico é igual ao pico da portadora de vídeo dividida pela potência de ruído associado numa largura de faixa de 4,2MHz. Essa relação é expressa em dB [1].



A relação portadora-ruído para um único amplificador em cascata poderá ser representada pela Equação (2.23), em dB, quando a figura de ruído é conhecida [2], [6], [7], [12].

$$CN = -NT + (O - G) - (NF + L) \quad (2.23)$$

onde:

$NT$ : potência do ruído térmico (-59,16 @  $BW = 4\text{MHz}$ ) (dBmV)

$O$ : nível do sinal de RF na saída do amplificador (dBmV)

$G$ : ganho do amplificador (dB)

$NF$ : figura de ruído do amplificador (dB)

$L$ : perda de inserção da placa de equalização do amplificador (dB)

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros do nível de sinal na entrada e a figura de ruído são similares, a relação portadora-ruído no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.24), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CNT = CN - 10 \cdot \log(N_{cascata}) \quad (2.24)$$

onde:

$N_{cascata}$ : número total de amplificadores em cascata

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros não são similares, a relação portadora-ruído no final da cascata poderá ser representada pela Equação (2.25), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CNT = -10 \cdot \log \left[ 10^{-\left(\frac{CN_1}{10}\right)} + 10^{-\left(\frac{CN_2}{10}\right)} + \dots + 10^{-\left(\frac{CN_N}{10}\right)} \right] \quad (2.25)$$

### 2.3.2.2 RELAÇÃO PORTADORA-RUÍDO NA BANDA DE RETORNO

Para a banda de retorno, um dos principais parâmetros de qualidade da rede *HFC* é a relação portadora-ruído, onde o critério de dimensionamento se diferencia apenas na forma de como a potência do sinal digital é transmitida.

No sentido direto o sinal de *RF* passa por sucessivos amplificadores e divisores, sendo que para o sentido reverso a potência do sinal de *RF* transmitido passa por sucessivos amplificadores e combinadores. Então, no sentido reverso a rede se comporta como um grande “funil” para entrada de sinais e ruídos provenientes dos assinantes até o cabeçal [03].

Para o sentido reverso deverá ser determinado inicialmente a potência do ruído térmico em uma largura de banda de interesse, através da Equação (2.26), em dBmV/Hz [14]. A largura de banda de interesse deverá ser a mesma considerada para determinar a potência do ruído térmico.

$$NP = NT - 10 \cdot \log(BW) \quad (2.26)$$

onde:

*NT*: potência do ruído térmico (dBmV)

*BW*: largura de banda de interesse para medição do ruído térmico (Hz)

A Equação (2.27) determina a potência total do ruído térmico na largura de banda de interesse do sentido reverso, em dBmV [14].

$$NP_{ret} = NP + 10 \cdot \log(BW_{ret}) \quad (2.27)$$

onde:

*NP*: potência do ruído térmico por Hz (dBmV/ Hz)

*BW<sub>ret</sub>*: largura de banda de interesse no sentido reverso (Hz)

A relação portadora-ruído para um único amplificador em cascata poderá ser

representada pela Equação (2.28), em dB, quando a figura de ruído é conhecida [14].

$$CNR_{ret} = -NP_{ret} + (I_{ret} - P_{diplex} - P_{combiner}) - NF_{ret} \quad (2.28)$$

onde:

$NP_{ret}$ : potência do ruído térmico na banda de retorno (dBmV)

$I_{ret}$ : nível do sinal de RF na entrada do amplificador sentido reverso (dBmV)

$P_{diplex}$ : perda de inserção do filtro duplexador do amplificador de retorno (dB)

$P_{combiner}$ : perda de inserção do combinador do amplificador de retorno (dB)

$NF_{ret}$ : figura de ruído do amplificador de retorno (dB)

Para  $\underline{N}$  amplificadores no *Node*, onde os parâmetros do nível de sinal na entrada e a figura de ruído são similares, a relação sinal-ruído total do *Node* poderá ser representada através da Equação (2.29), em dB [14].

$$CNRT_{ret} = CNR_{ret} - 10 \cdot \log(N_{node}) \quad (2.29)$$

onde:

$N_{node}$ : número total de amplificadores no *Node*

Para  $\underline{N}$  amplificadores do *Node*, onde os parâmetros não são similares, a relação portadora-ruído total do *Node* poderá ser representada pela Equação (2.30), em dB [14].

$$CNRT_{ret} = -10 \cdot \log \left[ M_1 \cdot 10^{\left( \frac{CNR_{ret1}}{10} \right)} + M_2 \cdot 10^{\left( \frac{CNR_{ret2}}{10} \right)} + \dots + M_N \cdot 10^{\left( \frac{CNR_{retN}}{10} \right)} \right] \quad (2.30)$$

onde:

$M_N$ : quantidade de cada modelo de amplificador de retorno do *Node*

### 2.3.2.3 RELAÇÃO PORTADORA-DISTORÇÃO DE 2ª ORDEM COMPOSTA

A relação portadora-distorção de 2ª ordem composta é a distorção em um canal de TV a cabo causada pelos produtos de 2ª ordem dos demais canais, quando o sistema opera em sua capacidade plena [1].

É a relação, expressa em dB, definida como sendo a medida entre o nível de pico do sinal de *RF* desejado e o pico dos componentes de distorção que estejam dentro do canal desejado. Seu valor deverá ser de, no mínimo, 53dB para sistemas de canais não coerentes e 47dB para sistema de canais coerentes, medida com portadoras não moduladas [1].

A relação portadora-distorção de 2ª ordem composta para um único amplificador em cascata poderá ser representada pela Equação (2.31), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CSO = CSO_0 - (OA - OR) + LC + 0,33 \cdot TC \quad (2.31)$$

onde:

$CSO_0$ : CSO de referência do amplificador fornecido pelo fabricante (dB)

$OA$ : nível de sinal operacional na saída do amplificador (dBmV)

$OR$ : nível de sinal de referência na saída do amplificador (dBmV)

$LC$ : modificação do número de carregamento de canais no amplificador (dB)

$TC$ : modificação do ganho diferencial no amplificador (tilt) (dB)

O ganho diferencial, denominado de *tilt*, representa a inclinação da rampa dos níveis de sinais na entrada ou na saída do amplificador, onde o valor do *tilt* positivo indica que o nível da portadora mais alta é maior do que o nível da portadora mais baixa. O valor negativo representa o inverso.

A modificação do ganho diferencial no amplificador representa a diferença entre o ganho diferencial de operação do amplificador pelo ganho diferencial de referência do equipamento, o qual considera que o incremento do ganho diferencial equivale ao decréscimo do nível de sinal nas frequências dos canais mais baixos. Essa

consideração é válida se o nível do canal alto se mantêm, onde só é modificado o nível do canal baixo e seu valor é positivo [6].

Caso se mantenha o nível do canal baixo e modifique o nível do canal alto, para um valor menor do que o de referência, a diferença será inversa, ou seja, a diferença entre o ganho diferencial de referência pelo ganho diferencial de operação.

O valor da modificação do número de canais do sistema poderá ser determinado através da Equação (2.32), em dB [7].

$$LC = 20 \cdot \log \left( \frac{Carregamento_{sistema} - 1}{Carregamento_{máximo} - 1} \right) \quad (2.32)$$

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros são similares, a relação portadora-distorção de 2ª ordem composta no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.33), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CSOT = CSO - 15 \cdot \log(N_{cascata}) \quad (2.33)$$

onde:

$N_{cascata}$ : número total de amplificadores em cascata

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros não são similares, a relação portadora-distorção de 2ª ordem composta no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.34), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CSOT = -15 \cdot \log \left[ 10^{-\left(\frac{CSO_1}{15}\right)} + 10^{-\left(\frac{CSO_2}{15}\right)} + \dots + 10^{-\left(\frac{CSO_N}{15}\right)} \right] \quad (2.34)$$

#### 2.3.2.4 RELAÇÃO PORTADORA-BATIMENTO COMPOSTO DE 3ª ORDEM

A relação portadora-batimento composto de 3ª ordem é a distorção em um canal de TV a cabo causada pelos produtos de 3ª ordem dos demais canais, quando o sistema opera em sua capacidade plena [1].

A relação, expressa em dB, é definida como sendo a medida entre o nível de pico do sinal de *RF* desejado e o pico dos componentes de distorção agregados que estejam dentro do canal desejado. Seu valor deverá ser de, no mínimo, 53dB para sistemas de canais não coerentes e 47dB para sistema de canais coerentes, medida com portadoras não moduladas [1].

A relação portadora-batimento composto de 3ª ordem para um único amplificador em cascata poderá ser representada pela Equação (2.35), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CTB = CTB_0 - 2 \cdot (OA - OR) + LC + 0,8 \cdot TC \quad (2.35)$$

onde:

$CTB_0$ : CTB de referência do amplificador fornecido pelo fabricante (dB)

$OA$ : nível de sinal operacional na saída do amplificador (dBmV)

$OR$ : nível de sinal de referência na saída do amplificador (dBmV)

$LC$ : modificação do número de carregamento de canais no amplificador (dB)

$TC$ : modificação do ganho diferencial no amplificador (tilt) (dB)

As considerações da modificação do número de carregamento de canais e modificação do *tilt* no amplificador são as mesmas descritas no item 2.3.2.2.

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros são similares, a relação portadora-batimento composto de 3ª ordem no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.36), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CTBT = CTB - 20 \cdot \log(N_{cascata}) \quad (2.36)$$

onde:

$N_{cascata}$ : número total de amplificadores em cascata

Para  $N$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros não são similares, a relação portadora-batimento composto de 3ª composta no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.37), em dB [2], [6], [7], [12].

$$CTBT = -20 \cdot \log \left[ 10^{-\left(\frac{CTB_1}{20}\right)} + 10^{-\left(\frac{CTB_2}{20}\right)} + \dots + 10^{-\left(\frac{CTB_N}{20}\right)} \right] \quad (2.37)$$

#### 2.3.2.5 RELAÇÃO PORTADORA-MODULAÇÃO CRUZADA

A relação portadora-modulação cruzada é a distorção causada pela modulação da portadora de um canal por sinais dos outros canais do sistema de TV a cabo, porque cada canal analógico de televisão possui componente de alto nível de sinal na frequência da linha horizontal [1], [6], ou seja, é causada por batimento do pulso de sincronismo horizontal, acima e abaixo da portadora de vídeo.

A relação, expressa em dB, é definida como sendo a medida entre o nível de pico da portadora do canal desejado e a amplitude pico a pico da modulação da mesma portadora, causada pelos sinais de outros canais. Seu valor deverá ser de, no mínimo, 53dB para um sistema de TV a cabo operando em capacidade plena [1].

Para o sistema *PAL-M* (*Phase Alternation by Line*) a taxa de apresentação de quadros é de 30 quadros por segundo e cada quadro possui 525 linhas, então a frequência de sincronismo horizontal equivale a 15,75kHz [6].

A relação portadora-modulação cruzada para um único amplificador em cascata poderá ser representada pela Equação (2.38), em dB [2], [6], [7], [12].

$$XM = XM_0 - 2 \cdot (OA - OR) + LC + 0,5 \cdot TC \quad (2.38)$$

onde:

$XM_0$ : XM de referência do amplificador fornecido pelo fabricante (dB)

$OA$ : nível de sinal operacional na saída do amplificador (dBmV)

$OR$ : nível de sinal de referência na saída do amplificador (dBmV)

$LC$ : modificação do número de carregamento de canais no amplificador (dB)

$TC$ : modificação do ganho diferencial no amplificador (tilt) (dB)

As considerações da modificação do número de carregamento de canais e modificação do *tilt* no amplificador são as mesmas descritas no item 2.3.2.2.

Para  $\underline{N}$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros são similares, a relação portadora-modulação cruzada no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.39), em dB [2], [6], [7], [12].

$$XMT = XM - 20 \cdot \log(N_{cascata}) \quad (2.39)$$

onde:

$N_{cascata}$ : número total de amplificadores em cascata

Para  $\underline{N}$  amplificadores em cascata, onde os parâmetros não são similares, a relação portadora-modulação cruzada no final da cascata poderá ser representada através da Equação (2.40), em dB [2], [6], [7], [12].

$$XMT = -20 \cdot \log \left[ 10^{-\left(\frac{XM_1}{20}\right)} + 10^{-\left(\frac{XM_2}{20}\right)} + \dots + 10^{-\left(\frac{XM_N}{20}\right)} \right] \quad (2.40)$$



### 2.3.2.6 RADIAÇÃO DO SINAL DAS REDES HFC

Um dos parâmetros mais importantes para se caracterizar a qualidade de uma rede *HFC* existente, é a determinação do número de pontos que a planta instalada apresenta quanto a emissão do sinal de radio frequência e a intensidade do campo elétrico que está sendo radiado em cada ponto.

Além dos aspectos legais, há um compromisso com a qualidade dos serviços prestados, ou seja, quanto maior for o número de pontos detectados, maior será a probabilidade dos sinais indesejados ingressarem na rede, prejudicando, desta forma, a qualidade dos sinais analógicos e digitais transmitidos na banda de descida, e principalmente, os sinais digitais na banda de retorno.

As emissões dos sinais de radio frequência na rede *HFC* estão diretamente relacionados aos descasamentos de impedâncias provocados por conexões mal feitas, dispositivos ativos ou passivos fechados erroneamente, cabos danificados, instalações dos assinantes, etc.

A TABELA 11 mostra os parâmetros limites das irradiações dos sinais a partir de qualquer ponto da rede, conforme a Lei do Cabo, o qual não pode exceder aos valores abaixo indicados [1].

**TABELA 11 – Parâmetros da Irradiação do Sinal – Norma N° 13/96**

<b><i>Faixa de Frequência</i></b> (MHz)	<b><i>Limite de Irradiação</i></b>		<b><i>Distância</i></b> (m)
	(dBμV/m)	(μV/m)	
Até 54 e acima de 216	23,5	15	30
Acima de 54 e até 216	26,0	20	3

A norma brasileira estabelece os valores limites permitidos da intensidade do campo elétrico, medido a uma certa distância, em metros, da fonte geradora. Esses parâmetros são insuficientes para atribuir um perfeito funcionamento do sistema, e também para indicar uma boa qualidade das instalações dos equipamentos da planta instalada, visto que não estabelece a quantidade acumulada das emissões dos sinais da rede em um período pré-determinado.

Os testes relativos aos requisitos estabelecidos na TABELA 11, nas faixas de frequências do serviço de rádio-navegação aeronáutica (108 – 137MHz, 328,6 – 335,4MHz e 960 – 1.000MHz), deverão ser realizados de três em três meses, abrangendo sempre, no mínimo, 75% da rede [1].

A norma americana *FCC (Federal Communications Commission)*, através da regulamentação 76.611, estabelece, além dos valores limites das emissões dos sinais, os critérios da intensidade das radiações dos sinais com base no índice cumulativo de emissão do sinal na rede [13].

O índice cumulativo de radiação do sinal (*CLI – Cumulative Leakage Index*), também referenciado como uma medida da figura de mérito, é um método para avaliar a integridade das radiações da planta instalada, o qual poderá ser determinado através de dois indicadores, representados pelas equações (2.41) e (2.42) [7], [13].

$$I_{3000} = \frac{1}{\phi} \sum_{i=1}^{n_i} \frac{E_i^2}{R_i^2} \quad (2.41)$$

$$I_{\infty} = \frac{1}{\phi} \sum_{i=1}^{n_i} E_i^2 \quad (2.42)$$

onde:

$\Phi$ : relação entre a quilometragem total da planta vistoriada pela quilometragem total da planta instalada (km)

$E$ : intensidade do campo elétrico medido @ 3m da rede de cabos ( $\mu\text{V/m}$ )

$R_i$ : distância de inclinação da fonte de radiação do sinal para um ponto 3.000 metros sobre o centro do sistema de televisão a cabo (m)

$n_i$ : número de radiações encontradas na rede  $\geq 50\mu\text{V/m}$

Deverá ser utilizada uma antena dipolo horizontal para as medições.

O valor de  $R_i$  poderá ser determinado através da Equação (2.43) [7], [13].

$$R_i = r_i^2 + 3000^2 \quad (2.43)$$

onde:

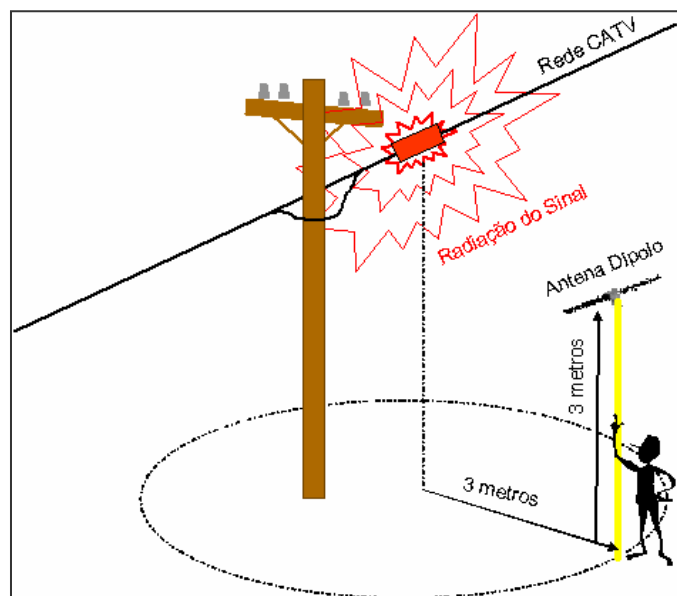
$r_i$ : distância entre a fonte de radiação do sinal e o centro do sistema de televisão a cabo (m)

Os parâmetros mínimos aceitáveis representados pelas Equações (2.41) e (2.42) são respectivamente representados pelas Equações (2.44) e (2.45) [7], [13].

$$10 \cdot \log I_{3000} \leq -7 \quad (2.44)$$

$$10 \cdot \log I_{\infty} \leq 64 \quad (2.45)$$

As medições dos níveis de radiações dos sinais na rede *HFC* deverão seguir conforme ilustrado na FIGURA 16, onde deverá ser posicionada a antena horizontal dipolo a 3 metros de distância de raio horizontal do poste e a 3 metros de altura em relação ao solo da fonte de radiação de sinal da rede.



**FIGURA 16 – Forma de Medição da Radiação do Sinal na Rede HFC**

O equipamento de medição deverá ser configurado em uma certa frequência de acordo com as faixas de frequências estabelecidas em norma, mencionada através da TABELA 11, então a antena dipolo deverá estar dimensionada para a frequência configurada do equipamento e medição.

Pode ser utilizada a Equação (2.46) para determinar o comprimento de cada elemento da antena dipolo de  $\frac{1}{2}$  onda, em metros [7].

$$L_{dipolo} = \frac{V_{pa} \cdot c}{4 \cdot f} \quad (2.46)$$

onde:

$V_{pa}$ : coeficiente da velocidade de propagação do sinal no ar (0,96)

$c$ : velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$f$ : frequência de propagação do sinal (Hz)

### 2.3.3 CANAIS DIGITAIS

A qualidade das transmissões dos canais digitais em uma rede *HFC* está diretamente relacionada com a taxa de erro de bits (*BER – Bit Error Rate*) e com a relação do erro de modulação (*MER – Modulation Error Ratio*), as quais estão relacionadas com as distorções e os ruídos do canal de comunicação, tanto na banda de descida como na banda de retorno.

#### 2.3.3.1 TAXA DE ERRO DE BITS (BER)

A taxa de erro de bits é definida como sendo a relação entre o número total de bits errados pelo número total de bits transmitidos.

De forma a comparar o desempenho de diferentes tipos de modulação foi introduzido o conceito da relação da energia do bit  $E_b$  [J/s] pela densidade de potência do ruído  $N_0$  [W/Hz]. Através deste conceito é possível eliminar o conceito da taxa de transmissão e largura de banda do ruído e, conseqüentemente, expressar a relação média de ruído por bit. A Equação (2.47) descreve a relação da energia do bit pela

densidade espectral do ruído, em dB [2], [9].

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR - 10 \cdot \log(R_b) - 10 \cdot \log(B_{ruído}) \quad (2.47)$$

onde:

$SNR$ : relação sinal-ruído do sinal digital (dB)

$R_b$ : taxa de transmissão do sinal digital no canal de comunicação (bps)

$B_{ruído}$ : medida da largura de banda de interesse do ruído (MHz)

Portanto, através desta relação, é possível comparar a sensibilidade ao ruído térmico de diferentes modulações, independente da taxa de transmissão aplicada. A Equação (2.48) descreve o  $BER$  para as modulações em amplitude e quadratura [2], [9].

$$BER = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot \text{erfc} \left[ \sqrt{\frac{3}{2 \cdot (M - 1)} \cdot \frac{E_b}{N_o}} \right] \quad (2.48)$$

onde:

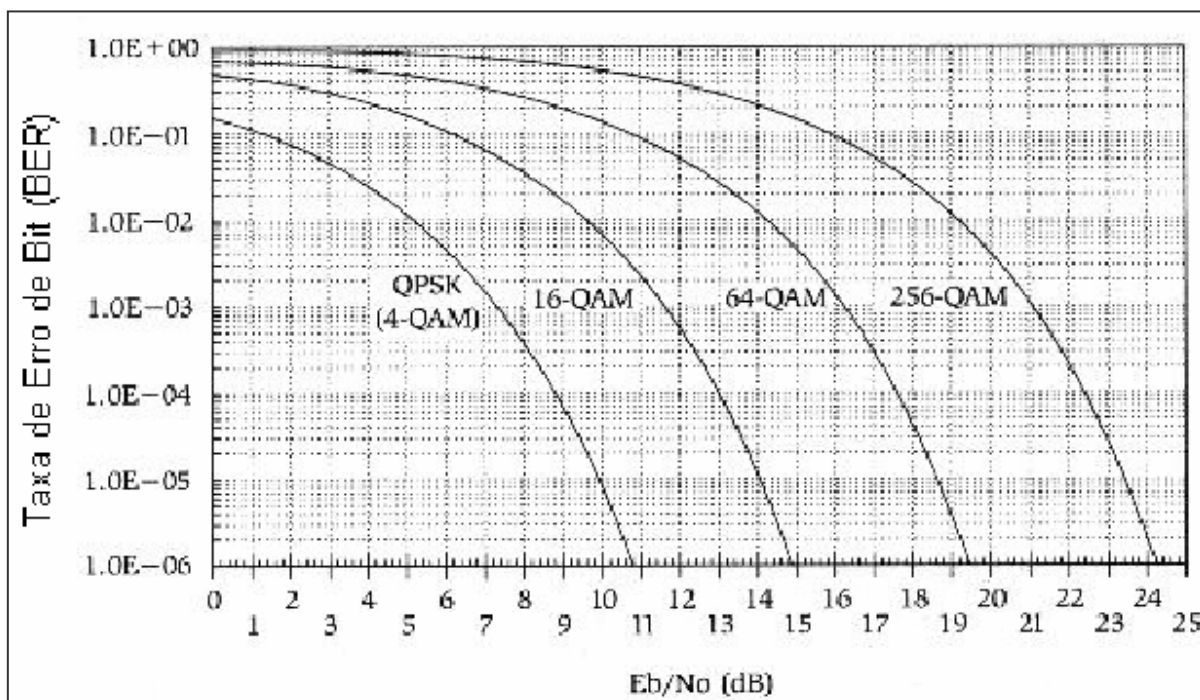
$M$ : número de estados distintos por símbolo (ex.  $M = 2^k = 2^8 = 256$ )

$E_b/N_o$ : relação entre a energia por bit pela densidade espectral de potência do ruído

$\text{erfc}$ : função erro complementar

Os erros em um sistema podem ter diferentes comportamentos. Os erros intermitentes têm como característica, provocarem eventuais erros espalhados na sequência binária. Já o erro em rajada, ocorre de modo a prejudicar uma sequência inteira de bits. Os erros em rajada são mais prejudiciais ao sistema uma vez que podem destruir grandes partes da informação.

A FIGURA 17 mostra um gráfico comparativo entre a relação  $E_b/N_o$  [dB] do canal de comunicação e a taxa de erro de bits correspondente [9].



**FIGURA 17 – Comparativo da Taxa de Erro de Bits vs Relação  $E_b/N_0$**

Através do gráfico da FIGURA 17 é possível observar que as modulações 256-QAM e 64-QAM necessitam de uma relação  $E_b/N_0$  muito maior que as modulações QPSK e 16-QAM, quando comparadas para a mesma taxa de erro de bit.

Por essa razão as modulações 256-QAM e 64-QAM são mais utilizadas na banda de descida das redes HFC, devido ao fato que a banda de descida apresenta uma maior relação  $E_b/N_0$ , quando comparada a banda de retorno, devido ao canal de retorno ser muito ruidoso.

Na banda de retorno há o efeito “funil”, o qual apresenta elevado nível de ingresso de ruído proveniente de todos os assinantes e espúrios provocados pela rede, conseqüentemente uma pior relação  $E_b/N_0$ . Nesse caso as modulações QPSK e 16-QAM são mais apropriadas para a banda de retorno, pois são mais robustas [9].

A BER é um dos principais indicadores de qualidade da transmissão dos canais digitais do sistema, sendo que durante a transmissão de dados alguns bits podem não ser recebidos ou recuperados corretamente. Quanto mais bits incorretos, mais o sinal digital será afetado.

Um canal digital de televisão é considerado perfeito quando possuir uma relação de erro de bit na ordem de  $1.10^{-10}$ , sendo que o princípio da degradação visível do sinal será na ordem de  $1.10^{-6}$ , onde o *FEC* deverá reduzir a taxa de erro de bit para  $1.10^{-10}$ . As normas *DVB-C* e *DOCSIS* estabelecem que o *FEC* deverá reduzir a taxa de erro de bit de  $1.10^{-4}$  para  $1.10^{-10}$  [8].

O *FEC* é formado por conjuntos de códigos detectores e corretores de erro que têm como função aumentar a probabilidade de recuperação da informação por parte do receptor. Desta forma, pode-se verificar o *BER* tanto antes como depois do *FEC*. Os erros Pré-*FEC* são aqueles causados pelo canal de comunicação e os erros Pós-*FEC* são aqueles remanescentes do código, ou seja, erros que o *FEC* não conseguiu corrigir.

#### 2.3.3.2 RELAÇÃO DO ERRO DE MODULAÇÃO (MER)

A relação do erro de modulação é outro dos parâmetros mais relevantes na determinação da qualidade de transmissão dos canais digitais no sistema, estando diretamente relacionada com o nível de ruído do sistema e, conseqüentemente, com a probabilidade de erro. Tal característica confere ao *MER* o parâmetro de qualidade fundamental para o desempenho do sistema.

O *MER* é análogo à relação *SNR* para os sinais digitais e à relação *CNR* para os sinais analógicos, sendo que identifica qual é a margem do sistema antes da falha. É uma medida da discrepância de agrupamento dos pontos da constelação, da modulação *QAM*, devido às imperfeições da transmissão em relação aos pontos ideais [2].

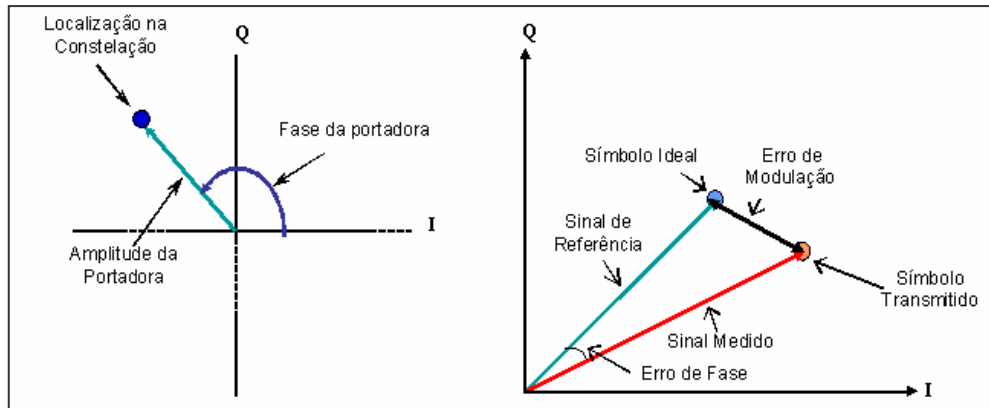
O *MER* é definido conforme a Equação (2.49), em dB.

$$MER = -10 \cdot \log \left\{ \frac{Potência \text{ -- Média -- Erro}}{Potência \text{ -- Média -- Símbolo}} \right\} \quad (2.49)$$

Através da Equação (2.49) observa-se que com o aumento da potência média do erro a relação *MER* diminui. Isso ocorre devido ao fato que a potência média do

erro é um valor muito menor quando comparado ao valor da potência média do símbolo.

Como se sabe, a modulação *QAM* é representada através de dois fasores ortogonais I e Q, o qual indicam a amplitude e a fase do sinal respectivamente. A FIGURA 18 mostra a representação fasorial da modulação *QAM*.



**FIGURA 18 – Relação do Erro de Modulação (MER)**

A relação do erro de modulação poderá ser escrita conforme a Equação (2.50), em dB [2], [15].

$$MER = -10 \cdot \log \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{N_{QAM}} [(I_j - I_{o_j})^2 + (Q_j - Q_{o_j})^2]}{\sum_{j=1}^{N_{QAM}} (I_{o_j}^2 + Q_{o_j}^2)} \right\} \quad (2.50)$$

onde:

*I* e *Q*: são as medidas dos pontos da fase e quadratura da portadora digital na modulação *QAM*

*I<sub>o</sub>* e *Q<sub>o</sub>*: são medidas dos pontos ideais da fase e quadratura da portadora digital na modulação *QAM*

*N<sub>QAM</sub>*: número de pontos de dados amostrados na modulação *QAM*

O número de pontos capturados na amostra de dados não é relacionado diretamente ao número de pontos na constelação *QAM*, mas deverá ser muito maior, para que dessa forma se tenha uma amostra representativa [2], [15].



Tipicamente, os números de pontos amostrados são 10 vezes maiores que o número de pontos na constelação.

Quando não for prático fazer isso em uma única medida, podem ser executadas medidas múltiplas, onde o  $MER$  agregado para as medidas está definido como a média linear dos valores (versus a média logarítmica dos valores) para essas medidas [15].

A Equação (2.51) descreve a relação de erro de modulação total para as várias medições, em dB [2], [15].

$$MER_T = -10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{NN} \sum_{i=1}^{NN} 10^{\frac{MER_i}{10}} \right\} \quad (2.51)$$

onde:

$NN$ : número de medidas realizadas para compor o  $MER_T$  (dB)

Um outro parâmetro relacionado para o  $MER$  é a magnitude de vetor de erro ( $EVM - Error-Vetor Magnitude$ ), que é definido conforme a Equação (2.52), em porcentagem [2], [15].

$$EVM = 100 \% \left\{ \frac{\text{Magnitude}_{RMS\_Erro}}{\text{Magnitude}_{Máxima\_Símbolo}} \right\} \quad (2.52)$$

Então, a magnitude de vetor de erro poderá ser escrita conforme a Equação (2.53), em % [2], [15].

$$EVM = 100 \% \cdot \sqrt{\frac{\frac{1}{N_{QAM}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{QAM}} ((I_j - I_o)^2 + (Q_j - Q_o)^2)}{S_{\max}^2}} \quad (2.53)$$

onde:

$I$  e  $Q$ : são as medidas dos pontos da fase e quadratura da portadora digital na modulação  $QAM$

$I_o$  e  $Q_o$ : são medidas dos pontos ideais da fase e quadratura da portadora digital na modulação  $QAM$

$N_{QAM}$ : número de pontos de dados amostrados na modulação  $QAM$

$S_{\max}^2$ : magnitude máxima do símbolo na modulação  $QAM$

## 2.4 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou, os cálculos dos principais parâmetros técnicos de qualidade de uma rede *HFC* bi-direcional, tendo sido destacado, principalmente, os parâmetros de qualidade dos canais analógicos e digitais na banda do sentido direto, pois o mesmo transporta o maior número de conteúdos de informações.

A formulação apresentada nesse capítulo é o suficiente para determinar, de forma aceitável, os parâmetros técnicos mínimos de qualidade de uma rede instalada ou em fase de implantação. Porém, será necessário adotar critérios mais rígidos na qualidade dos parâmetros para inclusão de novos serviços, como por exemplo, televisão digital e telefonia.

A norma brasileira não contempla os parâmetros técnicos mínimos de qualidade para a transmissão dos canais digitais nas redes de TV a cabo. Assim sendo, faz-se necessário recorrer aos parâmetros das normas americanas e européias, nas quais, para o canal de retorno, a norma brasileira não faz nenhuma descrição de algum parâmetro de qualidade do sinal.

No próximo capítulo será apresentada uma nova metodologia de trabalho que deverá ser seguida para assegurar a qualidade da transmissão dos canais analógicos e possibilitar a implementação dos canais digitais em uma rede *HFC* existente, bem como, garantir os parâmetros mínimos estabelecidos através dos cálculos dos principais parâmetros técnicos de qualidade.

## 2.5 REFERÊNCIAS

[1] ANATEL. **Serviço de TV a Cabo - Norma N° 13/96 –Rev/97**. Agência Nacional de Telecomunicações. Leis, Decretos e Regulamentações. 1997. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/servicos/tvacabo/tvacabo.asp>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[2] OVADIA, Shlomo. **Broadband Cable TV Access Networks – From Technologies to Applications**. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River. New Jersey. 2001. 446 p.

[3] RASKIN, Donald. STONEBACK, Dean. **Broadband Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable TV**. General Instrument. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River. New Jersey. 1998. 297 p.

[4] KATZNELSON, Ron D. **Statistical Properties of Composite Distortions in HFC Systems and Their Effects on Digital Channels**. Broadband Innovations, Inc. San Diego, CA. 2002.

[5] DUKE, Dwight. **The Hybrid Fiber / Coax Reverse Path: A Proven Gateway to New Services**. Scientific - Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. p. 25-47, 1997.

[6] SCIENTIFIC-ATLANTA. **The Broadband Data Book – Transmission Networks Systems**. Scientific-Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. 2001. p. 115.

[7] BLONDER TONGUE. **Broadband Reference Guide 2002**. Blonder Tongue Laboratories, Inc. Old Bridge, NJ. 2001. p. 124.

[8] CABLELABS. **DOCSIS Radio Frequency Interface Specification – SP-RFI-I07-010829**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos, 2001. Disponível em <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-RFIv1.1-I07-010829.pdf>>. Acesso em: 02 dez 2004.

[9] CICIORA, Walter. FARMER, James. LARGE, David. **Modern Cable Television Technology – Vídeo, Voice, and Data Communication**. Morgan Kauffman. San Francisco, 1999. p. 873.

[10] RIBEIRO, José A. Justino. **Comunicações Ópticas**. Érica. São Paulo. 2003. p. 227-334.

[11] CEFET-PR. **Comunicações Ópticas**. Apostila do Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Departamento de Engenharia Elétrica. Curitiba.2000.

[12] SCTE. **SCTE - Guide to Distortion & Derating**. Society of Cable Telecommunications Engineers Standards. Estados Unidos, 2005. Disponível em: <<http://www.scte.org.uk/members/technical/distort.html#deratctb>>. Acesso em: 26 jun 2005.

[13] FCC. **Electronic Code of Federal Regulations. Part 76 – Multichannel Video and Cable Television Service** . Federal Communications Commission. Estados Unidos, 2004. Disponível em: <<http://www.fcc.gov/mb/engineering/part76.pdf>>. Acesso em: 26 jun 2005.

[14] NCTA. **Recommended Practices for Measurements on Cable Television Systems – Supplement on Upstream Transport Issues** . National Cable Television Association. Science & Technology Department. Washington DC, Estados Unidos.1997. p. 75.

[15] SHERMAN, Matthew. **Comments on MER Definition, Test Procedure, and Requirements for QAM Constellations Using HP 89441A**. Submission #802.14a/99-023 to IEEE 802.14a Hi-PHY. AT&T Labs, Florham Park, NJ.2002. 6 p.

## **CAPÍTULO 3: DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA**

---

*Este capítulo apresenta uma metodologia de trabalho que deverá ser adotada para assegurar os parâmetros técnicos de qualidade para a transmissão dos canais analógicos e possibilitar a implementação dos canais digitais em uma rede HFC existente, seguindo como referência os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade.*

### **3.1 INTRODUÇÃO**

Como foi visto no CAPÍTULO 2, os parâmetros técnicos de qualidade para a transmissão dos canais analógicos e digitais em uma rede *HFC* bi-direcional está diretamente associada aos termos de distorções intrínsecas do sistema, aos componentes de ruídos provenientes dos assinantes, no caso da banda de retorno, e, também, às interferências externas provenientes de outros meios de comunicações não confinados na rede.

Além do correto dimensionamento do sistema, faz-se necessário adotar uma metodologia de trabalho em campo para assegurar os parâmetros técnicos de qualidade para a transmissão dos canais analógicos e o perfeito funcionamento do sistema.

Para que seja possível dimensionar os parâmetros técnicos de qualidade do sistema, faz-se necessário o desenvolvimento de uma planilha de cálculos. Essa planilha constitui-se de uma etapa prévia da metodologia proposta e será mostrada no início desse capítulo.

A metodologia proposta nesse trabalho possibilita a melhoria na transmissão dos canais analógicos de uma rede *HFC* existente, ou seja, provê a melhoria dos parâmetros técnicos de qualidade de forma a tornar possível a implementação da transmissão dos canais digitais.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE CÁLCULO DA REDE HFC

A planilha de cálculo servirá para determinar os valores dos principais parâmetros técnicos de qualidade de uma rede *HFC*, os quais foram descritos no item 2.3.2 e também, servirá para determinar os níveis dos sinais na entrada e na saída dos amplificadores de cada ramo da rede.

A planilha é constituída em três partes, sendo a primeira parte referente às especificações do catálogo do fabricante, a segunda parte, as modificações dos dados de catálogo em referência ao especificado pelo fabricante e a terceira parte mostra os cálculos e os resultados dos parâmetros técnicos de qualidade da rede *HFC* descritos no item 2.3.2. Toda a planilha é mostrada no APÊNDICE I.

A FIGURA 19 mostra, como exemplo, a segunda parte da planilha, onde serão especificados os níveis de sinais operacionais na saída dos amplificadores da rede, bem como a quantidade de cada modelo de amplificador na cascata. É nessa página que será realizada as modificações necessárias para se obter o melhor resultado dos parâmetros técnicos de qualidade.

Os resultados dos parâmetros de qualidade são mostrados no final da página 2 da planilha, em que quando é alterado o número da quantidade de amplificadores na cascata, representado pela linha “Cascata”, ou alterado o nível do sinal na saída do amplificador, representado pelas linhas “Nível de Saída: Canal Alto Canal Baixo”, seus valores são modificados.

Cada coluna na planilha representa o modelo do amplificador utilizado na linha de transmissão da rede *HFC* e sua posição na cascata do ramo a ser avaliado, ou seja, o amplificador mais a direita representa o primeiro ativo. Se tiver mais que um amplificador na cascata com os mesmos parâmetros, então o campo “Cascata” deverá ser incrementado.

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2									
APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR	AMPLIFICADOR	
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta			
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - BT	System II - LGD	Line Extender II			
Tecnologia do Equipamento		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Manual	Manual			
		1310 nm	PD	PD	PD	PD			
MODIFICAÇÕES DE PROJETO									
Carregamento de Canais no Sistema		78	78	78	78	78			
Ganho Operacional	dB	0	19	11,5	26,5	27			
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	35	35	46	43			
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	26	26	37	34			
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	9	9	9	9			
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16	23,5	19,5	16			
Cascata		1	1	1	1	1			
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE									
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	68,66	75,16	71,36	65,56			
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,00	88,60	84,60	64,20	68,00			
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	87,00	87,30	67,50	74,60			
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,00	75,66	74,70	65,90	67,50			
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00			
Multiplicador p/ CSO		15							
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE									
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,73							
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	55,53							
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	58,01							
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	55,77							
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,29							

**FIGURA 19 – Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade – Página 2**

O campo “Resultado Parcial dos Parâmetros de Qualidade” representa os valores dos parâmetros técnicos de qualidade para um único amplificador em cascata e o campo “Resultado Final dos Parâmetros de Qualidade” representa os valores para todos os amplificadores em cascata, ou seja, os valores no final da cascata.

A terceira parte da planilha mostra todas as fórmulas apresentadas no item 2.3.2 e a sequência dos cálculos para determinar os parâmetros técnicos de qualidade individualmente para cada amplificador, bem como o resultado final considerando todos os amplificadores em cascata.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Esta seção possui como principal objetivo mostrar uma metodologia de procedimentos técnicos que devem ser adotados para assegurar os parâmetros mínimos de qualidade para a transmissão dos canais analógicos e possibilitar a transmissão dos canais digitais em uma rede *HFC* existente, seguindo como referência os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade mencionado no CAPÍTULO 2.

A metodologia proposta nesse trabalho será apresentada em etapas e deverá ser seguida conforme a sequência abaixo:

- 1ª Etapa: Detecção do Nível de Ingresso do Sinal
- 2ª Etapa: Detecção do Nível de Radiação do Sinal
- 3ª Etapa: Alinhamento da Banda de Descida
- 4ª Etapa: Alinhamento da Banda de Retorno
- 5ª Etapa: Correção da Resposta em Frequência da Banda de Descida
- 6ª Etapa: Correção da Resposta em Frequência da Banda de Retorno
- 7ª Etapa: Medidas de Conformidade dos Canais Digitais

#### 3.3.1 1ª ETAPA: DETECÇÃO DO NÍVEL DE INGRESSO DO SINAL

A prática da detecção do nível de ingresso do sinal consiste em determinar quais os principais pontos da rede, externa e/ou interna, que estão gerando sinais indesejados dentro do sistema, provocando, dessa forma, interferências destrutivas nos canais analógicos e digitais, tanto na banda de descida como na banda de retorno.

Iniciar primeiramente com a prática de avaliação das principais fontes de ingressos de ruídos em cada *Node*, irá facilitar posteriormente os trabalhos de detecção das irradiações dos sinais na rede, uma vez que vários dos problemas encontrados serão corrigidos, conseqüentemente a maior parte das fontes de emissão dos sinais deixarão de existir.



Para possibilitar a localização dos pontos de ingresso na rede, será necessária a utilização de um analisador de espectro, para não precisar interromper por várias vezes o serviço disponibilizado na rede ativa. O equipamento deverá estar configurado na banda de retorno, entre 5 e 50MHz.

A TABELA 12 mostra a configuração do analisador de espectro utilizada para a detecção dos pontos de ingresso na rede. Essa configuração possibilita visualizar os espúrios dos sinais indesejados na rede, visto que os sinais possuem natureza aleatória com tempos muito rápidos, sendo assim a taxa de varredura deverá ser na ordem de mili-segundos [1], [2], [3].

**TABELA 12 – Configurações do Analisador de Espectro Banda de Retorno**

<b>Parâmetros</b>	<b>Analisador de Espectro</b>		
	<sup>(1)</sup> Valor	<sup>(2)</sup> Valor	Unidade
Frequência Inicial	5	5	MHz
Frequência Final	50	65	MHz
Resolução da Largura de Banda ( <i>RBW</i> )	280	300	kHz
Resolução do Filtro de Vídeo ( <i>VBW</i> )	Auto	100	kHz
Taxa de Varredura ( <i>Dwell-Time</i> )	>2	>1	Ms
Ativação do Filtro Passa Baixa	Sim	não possui	

Nota:

(1) configuração do medidor de campo *Acterna* modelo SDA-5000.

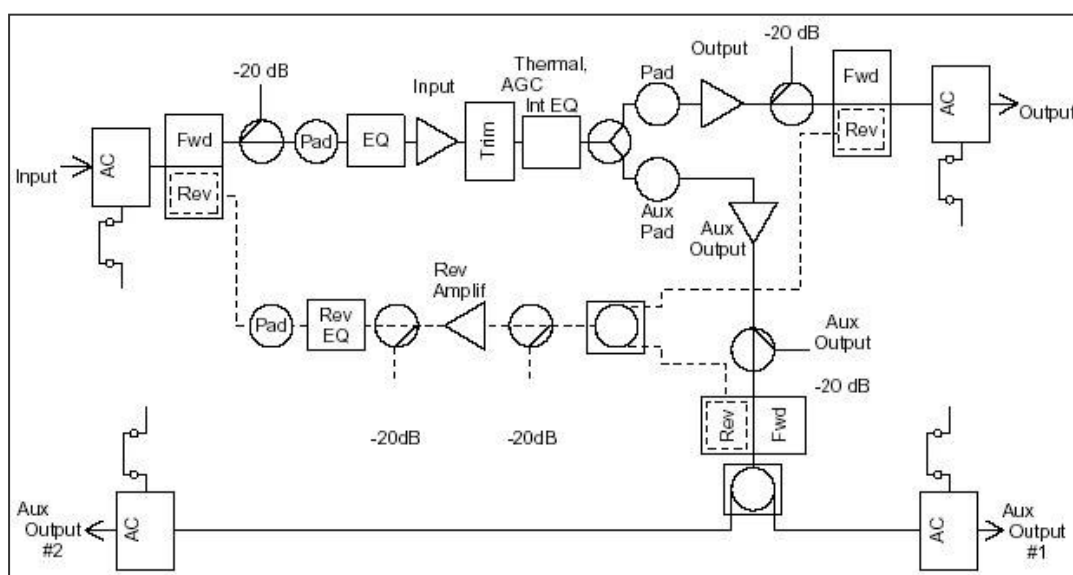
(2) configuração do analisador de espectro no cabeçal *Acterna Path Trak* modelo HCU-1500.

Quando os equipamentos ativos de rede, receptor óptico e amplificadores, possibilitarem a identificação dos ramos geradores de ingresso, através dos atenuadores de retorno de cada porta dos equipamentos, o analisador de espectro poderá estar localizado no cabeçal na porta de saída de *RF* do receptor óptico de retorno. Se os equipamentos não possuírem esse recurso, o analisador poderá estar no cabeçal, porém a identificação acarretará a interrupção do serviço, pois haverá desconexão física dos equipamentos passivos da rede para a identificação.

Geralmente os equipamentos ativos possuem pontos de teste individuais para cada porta, antecedendo os atenuadores antes do sinal entrar no módulo híbrido de retorno. Isso facilita a identificação dos ramos, porém, o analisador de espectro deverá estar localizado em campo.

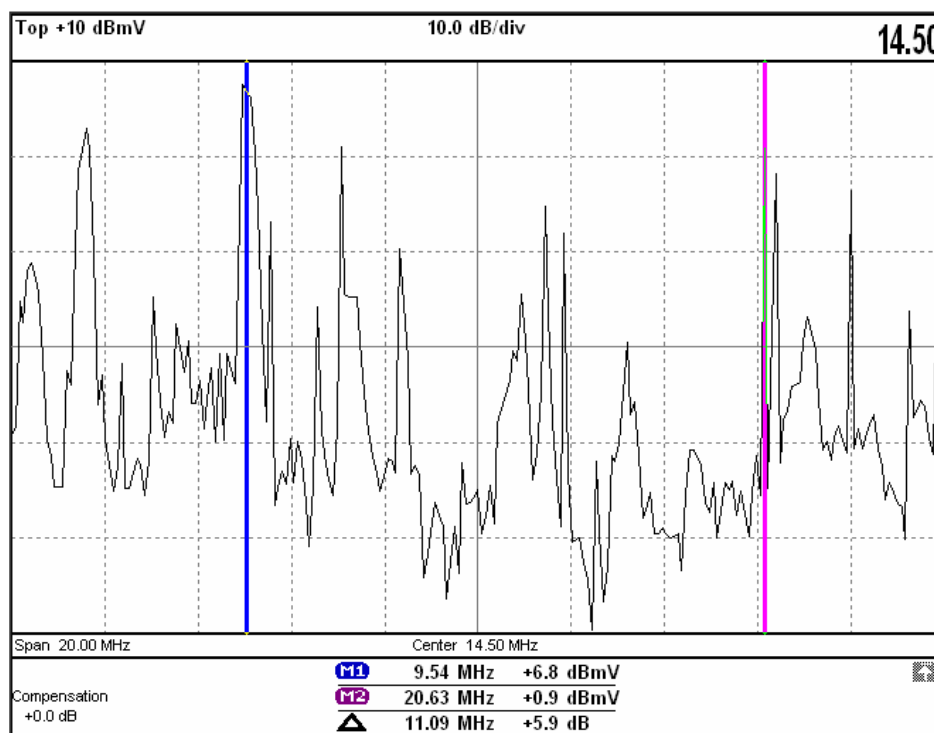
Os receptores ópticos possuem atenuadores e pontos de testes individuais para cada porta, porém, os equipamentos amplificadores, troncal e/ou de distribuição, mais antigos, possuem apenas um ponto de teste na entrada do módulo híbrido de retorno, o que dificulta os trabalhos em campo para a identificação sem ocorrer à interrupção dos serviços.

A FIGURA 20 mostra o diagrama em blocos de um amplificador, fabricação da *Scientific Atlanta*, que possui as características descritas acima. A linha tracejada representa o sentido reverso do sinal, onde poderá ser observado que o equipamento não possui atenuadores individuais nas suas portas. Isso não possibilita a identificação individual do ingresso de ruído de cada ramo, podendo apenas medir o ingresso de ruído proveniente de todas as portas no ponto de teste na entrada do módulo híbrido de retorno (Rev. Amplif.).



**FIGURA 20 – Diagrama em Blocos do Amplificador System II - LGD**

A FIGURA 21 mostra, como exemplo, o gráfico do analisador de espectro configurado na banda do sentido reverso, medido no ponto de teste na entrada do módulo híbrido de retorno, o qual apresenta vários picos de sinais indesejados ao longo da banda passante de 4,5 a 24,5MHz [1], [2].



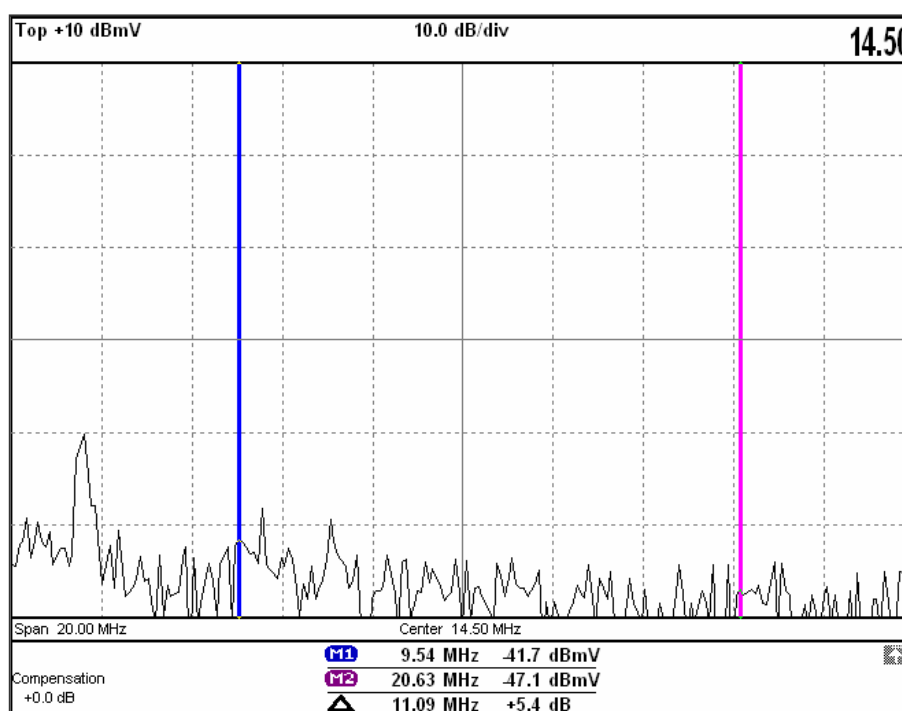
Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000.

**FIGURA 21 – Medição do Ingresso de Ruído na Banda de Retorno**

Através da FIGURA 21 observa-se que o valor máximo do pico de ingresso de ruído atingiu o valor +6,8dBmV na frequência de 9,54MHz, sendo que a maioria dos demais espúrios de sinais indesejados atingiram valores abaixo de -10dBmV.

Isso significa que a rede apresenta problemas de descasamento de impedância, que poderá estar associado a ruptura dos cabos da linha de transmissão, equipamentos mal fechados e conexões mal apertadas.

A FIGURA 22 mostra, como exemplo, o gráfico do analisador de espectro configurado na banda do sentido reverso, medido no ponto de teste na entrada do módulo híbrido de retorno, o qual não apresenta os picos de sinais indesejados ao longo da banda passante de 4,5 a 24,5MHz [1], [2].



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000.

**FIGURA 22 – Medição do Ingresso de Ruído na Banda de Retorno**

Através da FIGURA 22 observa-se que o valor máximo do pico de ingresso de ruído atingiu o valor -41,7dBmV na frequência de 9,54MHz, sendo que a maioria dos demais espúrios de sinais indesejado atingiram valores abaixo de -40dBmV.

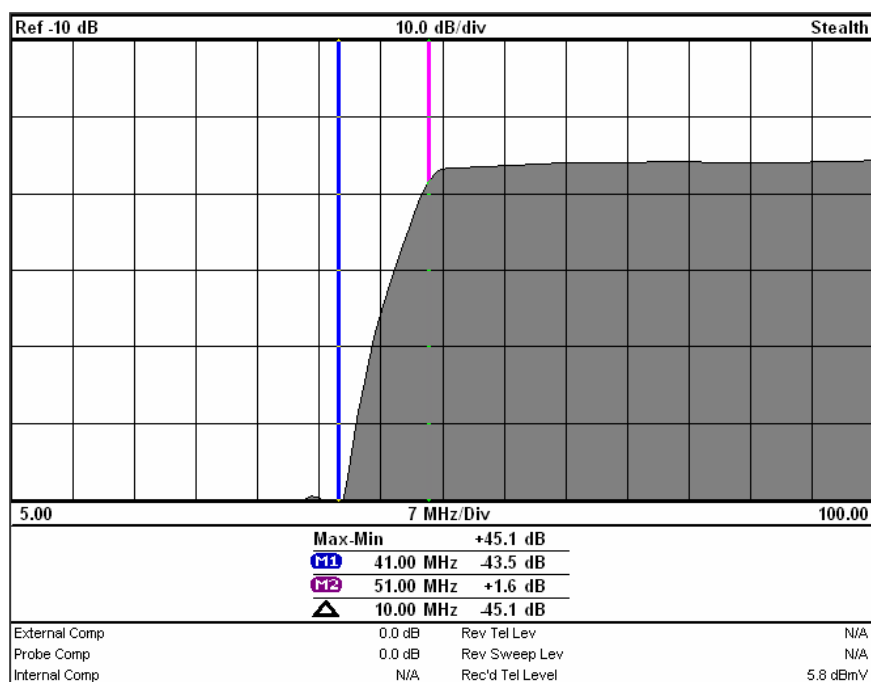
Na prática, no momento das detecções, não seria possível resolver todos os problemas provenientes das instalações dos assinantes que estivessem gerando ingressos de ruídos para rede. Mesmo que fosse possível, o fator tempo seria muito dispendioso e os riscos constantes das fontes geradoras de ruídos prejudicando o funcionamento do sistema seria bastante iminente. Então, o procedimento adotado é a instalação de um filtro passa faixa na porta de saída dos divisores de rede para cada instalação.

Essa prática só poderá ser adotada nos assinantes que possuem apenas os serviços disponibilizados na banda de descida e em caráter temporário, até que se consiga agendar uma vistoria técnica para a correção definitiva dos problemas.

Como proposta nesse trabalho o filtro passa faixa deverá possuir as seguintes características:

- Frequência de Corte ( $-3,01$  dB): 50MHz
- Atenuação (5 a 40 MHz): 40dB mínimo
- Banda Passante: 54MHz a 1GHz
- Ordem: 8 (48dB/8va)
- Perda de Retorno (54 a 100MHz): 14dB mínimo
- Perda de Retorno (101 a 1GHz): 18dB mínimo
- Fase linear

A FIGURA 23 mostra a curva da resposta em frequência do filtro passa alta passivo de fabricação *PPC* modelo SHP3-50 com frequência de operação até 1GHz, o qual foi instalado nos assinantes geradores de ingressos de ruídos para rede.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000.

**FIGURA 23 – Resposta em Frequência do Filtro Passa Alta SHP3-50**

Através da FIGURA 23 observa-se, que entre a frequência de 41 a 51MHz o filtro SHP3-50 atenuou a amplitude do sinal em 45dB, caracterizando um desempenho superior a atenuação mínima requerida de 40dB, em 40MHz.

A instalação dos filtros passa faixa nos assinantes resolveria apenas parte dos problemas dos ingressos de ruídos na banda de retorno, pois as interferências na banda de descida ainda ficariam prejudicadas.

### 3.3.2 2ª ETAPA: DETECÇÃO DO NÍVEL DE RADIAÇÃO DO SINAL

Como foi mostrado no CAPÍTULO 2, item 2.3.2.6, apesar dos aspectos legais estabelecidos em norma, a prática da detecção dos níveis das irradiações dos sinais na rede *HFC* está diretamente relacionada à probabilidade de detectar os inúmeros pontos geradores de ingressos de ruídos no sistema.

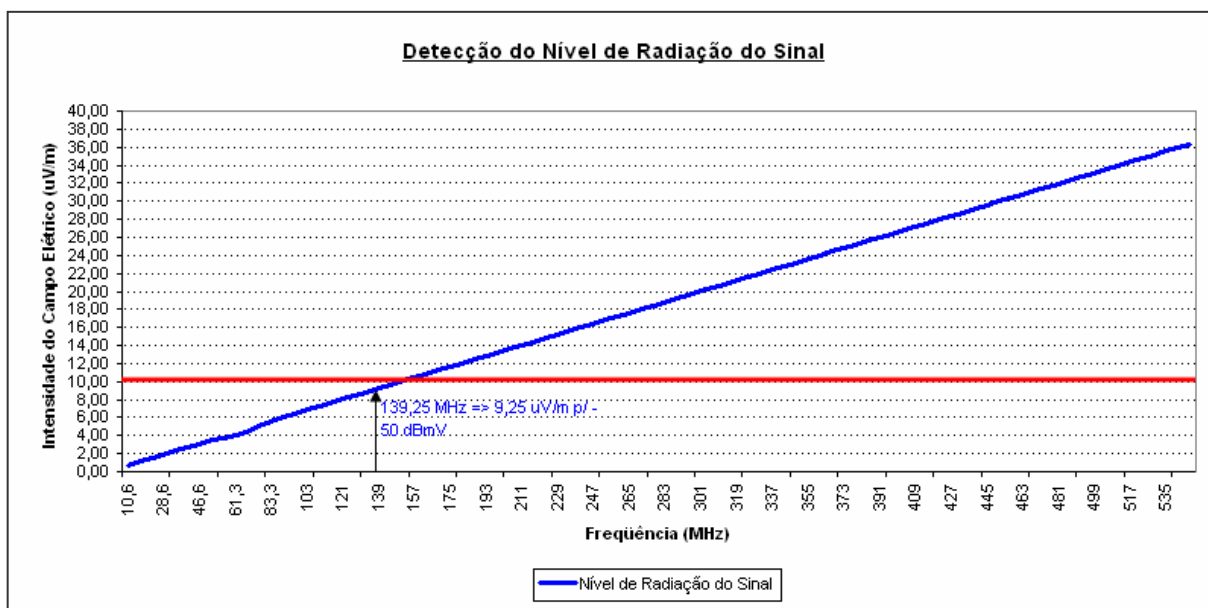
Neste trabalho foi adotado o equipamento de medição (*SLM – Signal Level Meter*) da *Acterna* modelo *CLI-1450* para as medições do índice cumulativo de radiação de sinal na rede, ou seja, detectar a intensidade do campo elétrico em cada ponto do sistema que está emitindo sinais para fora do confinamento da rede [4].

Os equipamentos de medição de sinal, preparados para detectar o nível de radiação do sinal (*Leakage Meter*), utilizam a faixa de frequência entre 115 e 140MHz que corresponde aos canais 99, 14, 15, 16 e 17. Essa faixa compreende a faixa de frequência destinada a radionavegação aeronáutica (108 a 137MHz).

O nível da intensidade de radiação do sinal está diretamente relacionado com a frequência. Se for considerado um ponto da rede, onde os níveis entre todos os canais do sistema são iguais, quanto maior for a frequência maior será o nível da emissão do sinal de rádio frequência da rede para o ar.

Os equipamentos de medição não possibilitam as medições dos níveis de sinais emitidos para o ar na faixa do espectro da banda de retorno, porém, através do gráfico da FIGURA 24, é possível identificar o nível de radiação do sinal na banda de retorno, uma vez identificado o nível na frequência da banda de direto.

No gráfico da FIGURA 24 foi considerado um nível de potência dos canais da rede radiando um sinal para o ar de -50dBmV.



FONTE: Adaptado de: Scientific Atlanta. The Broadband Data Book -Transmission Networks Systems. 2001.

**FIGURA 24 – Gráfico Nível de Radiação vs Frequência**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 24, que o nível da intensidade do campo elétrico emitido para o ar, na faixa compreendida entre 115 e 140MHz, para o mesmo nível de potência entre todos os canais de -50dBmV (+10dBμV), está entre 7,65 e 9,25μV/m, respectivamente. Na banda de retorno, entre os canais T-7 e T-14 (10,58 e 52,58MHz), o nível da intensidade do campo elétrico do sinal é < 3,5μV/m.

Dessa forma, poderá ser adotado como procedimento a correção de todas as imperfeições que geram “fuga” de sinal superior ao valor de 10μV/m. Esse limite estabelecido dará uma segurança maior ao sistema quando comparado aos níveis estabelecidos em norma.

As Equações (2.41) e (2.42) estabelecem os parâmetros mínimos aceitáveis do índice cumulativo de radiação do sinal da área vistoriada, quais sejam:  $I_{3000} \leq -7$  e  $I_{\infty} \leq 64$ , respectivamente.

Considerando que o valor de referência limite de cada ponto de “fuga” de sinal da rede seja, no máximo, de  $10\mu\text{V/m}$ , a área vistoriada terá índices cumulativos de radiação do sinal de  $I_{3000} = -32$  e  $I_{\infty} = 38$ , onde esses valores poderão ser considerados como valores limites padrão para o bom funcionamento de uma rede de televisão a cabo. Se considerarmos o valor limite da norma,  $20\mu\text{V/m}$ , os índices ficariam em  $I_{3000} = -26$  e  $I_{\infty} = 44$ .

Outra prática que também poderá ser adotada como procedimento é quanto à forma de verificação dos pontos de emissão dos sinais de rádio frequência da rede, em que a medição deverá seguir conforme ilustrado através da FIGURA 16, porém fica inviável percorrer a rede toda dessa forma. Então, poderá ser adotado como procedimento inicial o patrulhamento com um automóvel, no qual, deverá ser instalada uma antena monopolo configurada para medir o mesmo nível do campo elétrico do sinal quando comparado a uma antena dipolo e na mesma distância.

Como prática poderá o equipamento de medição ser configurado para medir a 10m de distância da rede, porém, referenciado a 3m, isso dará um ganho na leitura do equipamento de 3,33 vezes. Este procedimento foi atribuído neste estudo para a identificação dos pontos de “fuga”.

### 3.3.3 3ª ETAPA: ALINHAMENTO DA BANDA DE DESCIDA

O procedimento de alinhamento consiste em ajustar os níveis de sinais na entrada e na saída dos elementos ativos da rede *HFC*, que são caracterizados pelos amplificadores troncais e de distribuição, além do transmissor e receptor óptico.

Os alinhamentos dos níveis de sinais, nos elementos ativos, são referenciados entre a frequência do canal mais alto e a frequência do canal mais baixo da banda passante do sistema, sendo que os mesmos deverão ser ajustados de forma que se obtenha o melhor desempenho dos parâmetros de qualidade da rede *HFC*.

A equalização é o processo que consiste em corrigir a inclinação da rampa ou ganho diferencial, denominado de *tilt*, na entrada dos elementos ativos, para que



dessa forma os mesmos tenham os valores dos níveis de sinais nas suas saídas conforme especificação do projeto. A inclinação da rampa é causada na resposta em frequência da banda passante pelo cabo coaxial e pelos dispositivos do sistema, o qual deverá ser corrigida para que se obtenha o melhor desempenho dos parâmetros de qualidade dos elementos ativos da rede *HFC*.

O enlace óptico deverá ser ajustado primeiro, em que o nível de potência óptica gerada pelo transmissor deverá estar de acordo com o nível de potência óptica entregue no receptor, sendo que o fotodetector irá corresponder a um nível de sinal de *RF* na sua saída conforme o nível de potência óptica na sua entrada.

Os parâmetros técnicos de qualidade do enlace óptico, entre transmissor e receptor óptico, são fornecidos pelo catálogo do fabricante e são referenciados através das perdas nominais dos enlaces.

Considerando que um enlace óptico possui uma determinada atenuação, então o transmissor óptico deverá ter na sua saída uma potência óptica correspondente ao valor da atenuação do enlace, o qual é admissível uma potência óptica recebida no receptor não inferior a -3dB e nem superior +1dB.

Como proposta, os limites dos níveis de potência óptica, entre -2 e 0dBm, na entrada do receptor óptico foi considerado, neste trabalho, como sendo o mais adequado para o alinhamento do enlace óptico. Devido ao fato que potências inferiores acarretam redução da relação portadora-ruído e potências superiores redução da relação portadora-distorções não lineares.

Antes de iniciar os procedimentos de alinhamentos e correções do ganho diferencial nos equipamentos de rede externa, deverão ser verificados os níveis de sinais e planicidade de todos os canais na entrada de *RF* dos transmissores ópticos, localizados no cabeçal, os quais deverão seguir as especificações do fabricante.

Os níveis de sinais de todos os canais analógicos deverão estar ajustados para um mesmo nível de potência, sendo considerado admissível uma variação de  $\pm 0,5\text{dB}$  em sua planicidade, referenciado entre a frequência mais alta e a mais baixa do sistema.

Esse ajuste irá garantir que na saída de *RF* do fotodetector, localizado no receptor óptico da rede, terá aproximadamente a mesma planicidade, em que o limite de  $\pm 0,5\text{dB}$  é considerado como sendo aceitável para o alinhamento dos níveis de sinais dos canais na entrada do módulo de *RF* do receptor óptico.

Conseqüentemente esse procedimento irá resultar no correto alinhamento dos níveis de sinais dos canais nas portas de saída do módulo de *RF* do receptor óptico, sendo necessário apenas um atenuador do tipo *PAD* (*Power Attenuator Device*), na entrada do primeiro estágio de amplificação.

A inclinação da rampa, níveis de sinais entre o canal alto e baixo, na saída do receptor óptico será caracterizado pelo ajuste da placa equalizadora. Em alguns receptores ópticos esse valor de inclinação é fixado pelo fabricante.

Para o alinhamento dos canais digitais no sistema de Multiplexação por Divisão em Frequência, deverá ser considerado o tipo de modulação utilizada. Para o alinhamento dos canais digitais, que utilizam a modulação *64-QAM* e *256-QAM* a padronização *DOCSIS* estabelece que o nível da portadora digital deva ficar entre 10dB e 6dB, respectivamente, abaixo da portadora do canal analógico adjacente.

Posteriormente realizado o correto alinhamento do enlace óptico, poderão ser alinhados os níveis dos canais na entrada e na saída dos amplificadores da rede, sendo que para corrigir a atenuação provocada pela rede coaxial e pelos dispositivos do sistema, faz-se necessário a utilização de um equalizador, para a compensação do *tilt* negativo, ou de um *BCS* (*Broadband Cable Simulator*), para compensação do *tilt* positivo, além do atenuador utilizado para ajustar corretamente os níveis de potência dos sinais na entrada dos elementos ativos.

Como proposta desse trabalho a TABELA 13 mostra, passo a passo, através de uma planilha de cálculo, como é realizado o alinhamento dos elementos ativos da rede *HFC*, bem como determinar os valores das placas equalizadora e atenuadora de sinal. Os valores mostrados na TABELA 13 foram referenciados ao amplificador *System II* modelo *LGD* da *Scientific Atlanta*, utilizado na rede *HFC* existente, que faz parte do estudo desse trabalho.

**TABELA 13 – Configuração da Placas Equalizadora e Atenuadora**

Planilha de Cálculos para Equalização			
1º Passo	Frequência de Operação do Sistema	MHz	550
	Frequência do Canal Alto	MHz	547,25
	Frequência do Canal Baixo	MHz	55,25
2º Passo	Nível de Entrada Medido do Canal Alto	dBmV	18,0
	Nível de Entrada Medido do Canal Baixo	dBmV	22,0
	Ganho Diferencial Medido na Entrada (TILT)	dB	-4,0
3º Passo	Nível de Entrada Operacional do Canal Alto	dBmV	15
	Nível de Entrada Operacional do Canal Baixo	dBmV	13
	Ganho Diferencial Operacional na Entrada (TILT)	dB	2,0
4º Passo	Valor Calculado do Equalizador - EQ	dB	8,8
	Valor Existente do Equalizador - EQ	dB	9,0
	Valor Existente do Atenuador - PAD	dB	2
	Atenuação na Frequência do Canal Alto	dB	1,02
	Atenuação na Frequência do Canal Baixo	dB	7,15
Resultado	Valor da Atenuação da Placa Atenuadora - PAD	dB	2
	Valor da Atenuação da Placa Equalizadora - EQ	dB	9
	Nível de Entrada do Canal Alto no Módulo Híbrido	dBmV	15,0
	Nível de Entrada do Canal Baixo no Módulo Híbrido	dBmV	12,9

O valor calculado da atenuação da placa equalizadora de sinal, mostrado no 4º Passo, poderá ser determinado através da Equação (3.1), em dB, que poderá servir como referência para qualquer banda passante do sistema [5].

$$EQ = \frac{(\Delta op_{in} - \Delta med_{in})}{\left(1 - \sqrt{\frac{fm_{chL}}{fop_{sistema}}}\right)} \quad (3.1)$$

onde:

$\Delta op_{in}$ : ganho diferencial operacional na entrada do amplificador (dB)

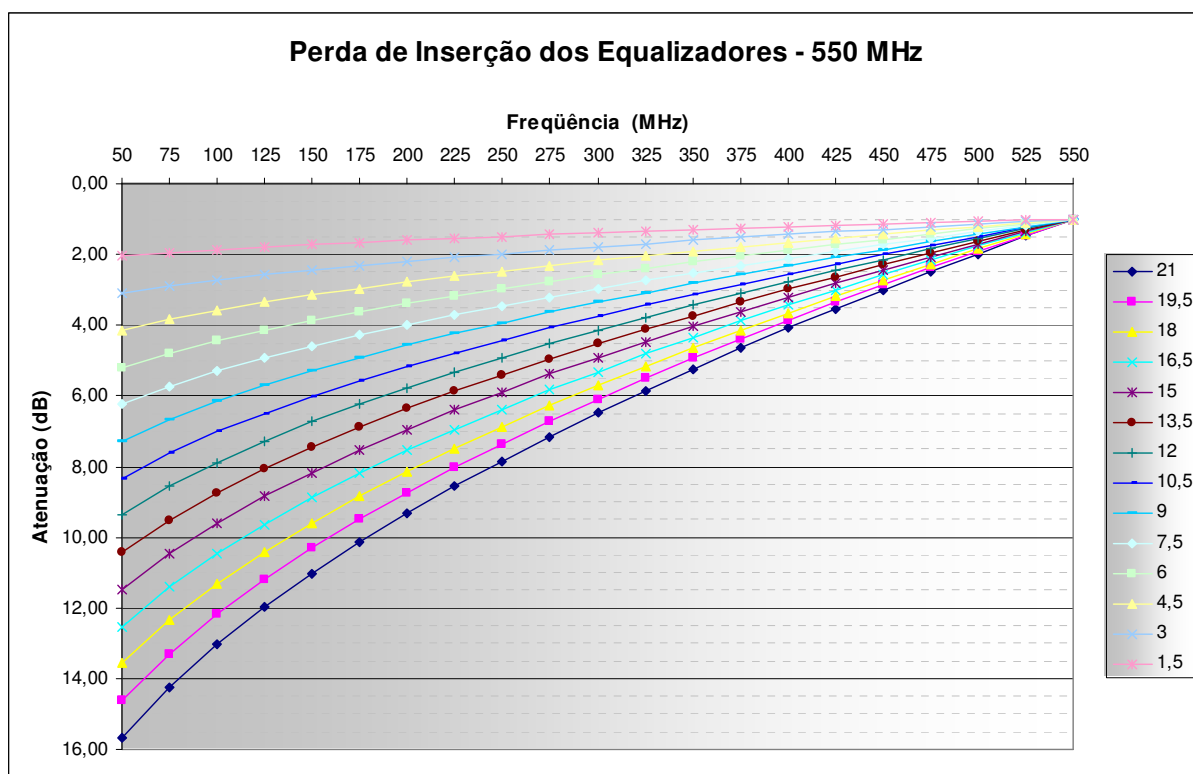
$\Delta med_{in}$ : ganho diferencial medido na entrada do amplificador (dB)

$fm_{chL}$ : frequência medida do canal mais baixo do sistema (MHz)

$fop_{sistema}$ : frequência operacional do sistema (MHz)

Através da TABELA 13 observa-se que os níveis operacionais são referenciados na entrada do módulo híbrido de amplificação e os níveis medidos são referenciados no ponto de teste dos amplificadores, ou seja, a medição é realizada antes das placas equalizadora e atenuadora.

Para determinar o valor da atenuação da placa equalizadora existente, deverá ser consultado o catálogo do fabricante. O gráfico da FIGURA 25 mostra os valores típicos da perda de inserção das placas equalizadoras, fornecido pelo fabricante, para um sistema em 550MHz [6].



FONTE: Adaptado de: Scientific Atlanta. The Broadband Data Book -Transmission Networks Systems. 2001.

**FIGURA 25 – Perda de Inserção das Placas Equalizadoras – 550 MHz**

Na TABELA 13 observa-se que o valor requerido da atenuação na frequência do canal baixo é de 7,15dB, então o valor correspondente da placa equalizadora que aproxima dessa atenuação é a placa de 9dB, como é mostrado através do gráfico da FIGURA 25.

Para que seja possível visualizar o nível de potência dos sinais entre todos os canais do sistema e na mesma tela de medição, poderá ser utilizado o equipamento de medição na função *SCAN* [2], [4]. Para a visualização da rampa de inclinação, o mais adequado é a função *TILT* [2], [4].

### 3.3.4 4ª ETAPA: ALINHAMENTO DA BANDA DE RETORNO

Os sinais que trafegam na banda de retorno são digitais e esses possuem a característica de acesso ao canal *TDMA*, no caso do padrão *DOCSIS*, com a divisão do canal de retorno em intervalos de tamanho da mini-abertura (*Mini-Slot Size*) em base de tempo de  $6,25\mu s$ . A mini-abertura representa o tempo do Byte necessário para a transmissão de um número fixo de Bytes.

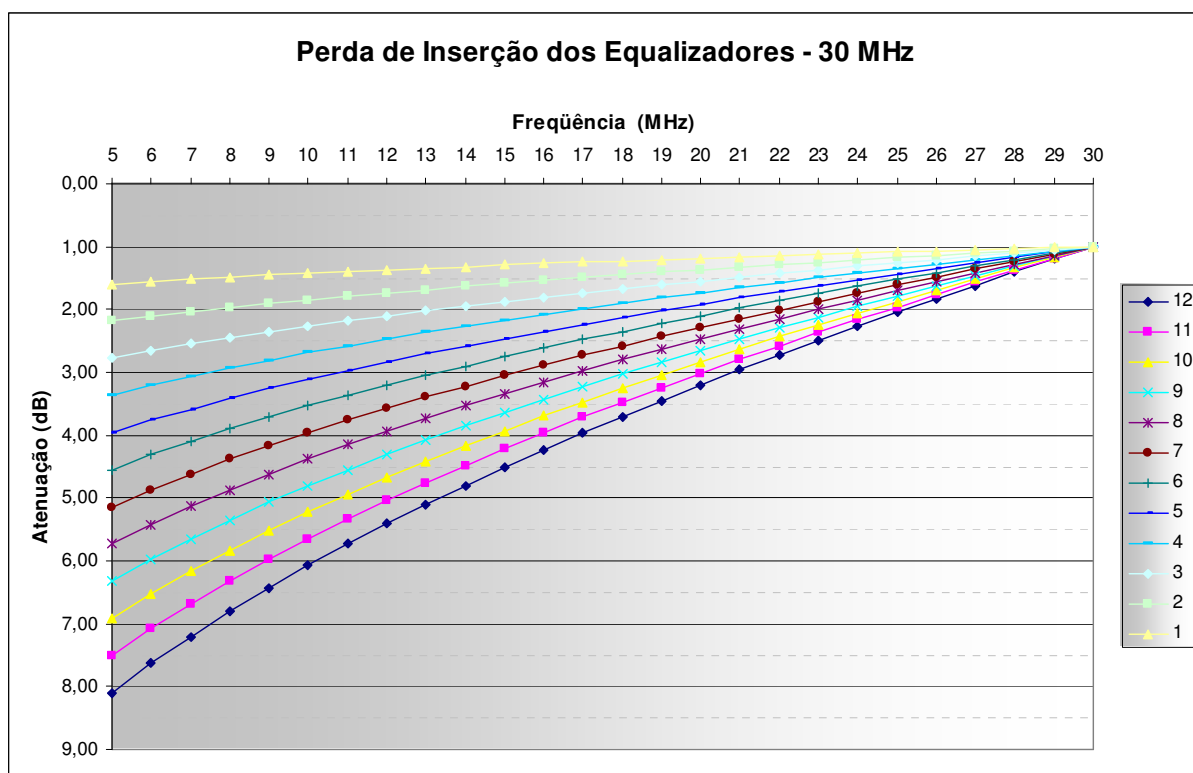
Considerando que esses sinais, que trafegam no canal de retorno, utilizam a modulação *QPSK*, isso resultaria no tamanho da mini-abertura igual a quatro, com 16 Bytes por mini-abertura e 4 símbolos por Byte. Dessa forma irá resultar em uma taxa de 2.560ksps, 640kBps e 40.000 mini-abertura por segundo. Se cada mini-abertura possui uma base de tempo de  $6,25\mu s$  e o tamanho da mini-abertura é igual a 4, então o tempo da mini-abertura será de  $25\mu s$ .

Será muito difícil ajustar a banda de retorno utilizando apenas os sinais transmitidos pelos *cable modems*, então o procedimento mais adequado será inserir, duas ou mais, portadoras fixas ao longo da banda. Quanto maior for o número de portadoras inseridas na banda de retorno, melhor será o ajuste do alinhamento e equalização do sistema. Esse trabalho recomenda utilizar pelo menos um espaçamento de 1MHz entre as portadoras.

Como exemplo, onde a banda de retorno possui uma faixa de 25MHz, resultaria em 26 portadoras fixas. Porém, como na banda de retorno de uma rede existente possui tráfego de sinais digitais provenientes dos serviços de *cable modem*, as faixas de frequências destinadas para esses serviços não poderão ser interferidas, ou seja, haverá redução do número de portadoras inseridas para o alinhamento.

O procedimento de alinhamento da banda de retorno consiste em ajustar os níveis de sinais da banda passante na entrada e na saída dos elementos ativos da rede, para que os procedimentos adotados para a banda de descida possam ser utilizados para a banda de retorno.

O procedimento adotado para determinar o valor da atenuação da placa equalizadora existente na banda de retorno é o mesmo que foi mostrado para a banda de descida, em que deverá ser consultado o catálogo do fabricante. O gráfico da FIGURA 26 mostra os valores típicos da perda de inserção das placas equalizadoras, fornecido pelo fabricante, para um sistema em 30MHz [6].



FONTE: Adaptado de: Scientific Atlanta. The Broadband Data Book -Transmission Networks Systems, 2001.

**FIGURA 26 – Perda de Inserção das Placas Equalizadoras – 30 MHz**

O valor calculado da placa equalizadora poderá ser determinado através da Equação (3.1) e o procedimento adotado na TABELA 13 também poderá ser seguido.

Como a perda do cabo coaxial sofre diferentes atenuações para as diferentes faixas de frequência ao longo da linha de transmissão, quanto maior for a frequência,

maior será a atenuação, então o valor da placa equalizadora na entrada do amplificador do sentido reverso terá seu valor diferente em relação à placa na entrada do amplificador do sentido direto.

A mais importante característica no procedimento do alinhamento da banda de retorno é garantir que todos os amplificadores possuam o mesmo nível de sinal na sua entrada e que esses tenham a máxima planicidade em toda a banda passante, para que dessa forma se obtenha o ganho unitário do sistema.

### 3.3.5 5ª ETAPA: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA BANDA DE DESCIDA

A correção da resposta em frequência da banda de descida, também conhecida como *Sweep* direto, consiste em determinar quais os dispositivos do sistema apresentam imperfeições quando submetidos ao carregamento de sinais na banda passante considerada.

O objetivo é que se obtenha a máxima planicidade na resposta em frequência de toda a rede, e o parâmetro para aceitação, poderá ser estabelecido através da relação pico-vale, demonstrada pela Equação (2.8) no CAPÍTULO 2.

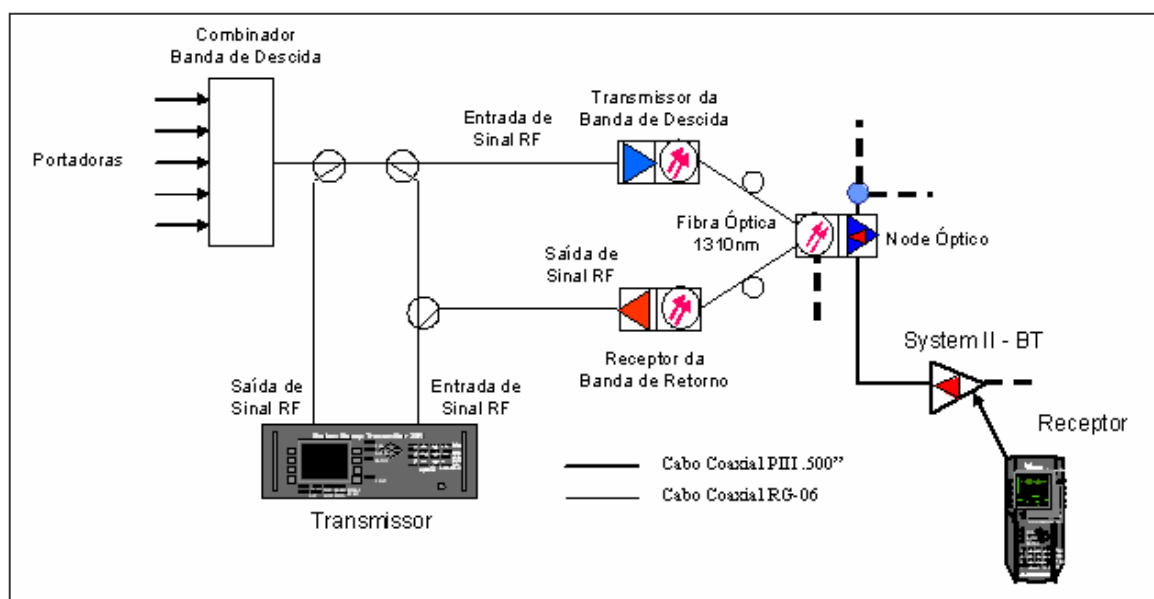
A relação pico-vale está relacionada diretamente com o número de elementos amplificadores ao longo da cascata e com a resposta em frequência de cada um, sendo admissível o valor dimensionado através da Equação (2.8).

Para que seja possível determinar a resposta em frequência da banda de descida, deverá ser instalado no cabeçal um equipamento transmissor, e na rede, um equipamento receptor, sendo que ambos deverão conter o plano de canais do sistema.

O equipamento transmissor irá inserir portadoras na banda de descida, de forma que o receptor identifique todas essas portadoras através do sinal de telemetria e mostre na tela o gráfico da resposta em frequência até o ponto de medição.

Como não é possível desligar o sistema (portadoras analógicas e digitais), então o equipamento deverá ser configurado para levar em consideração os níveis das portadoras existentes, sendo que nas faixas de frequências, onde não existe carregamento de canais, deverão ser incluídas portadoras até que a banda passante fique toda preenchida.

A FIGURA 27 mostra o diagrama de ligação do equipamento de *Sweep* no cabeçal e na rede, em que a configuração servirá também para determinar a resposta em frequência da banda de retorno [2].

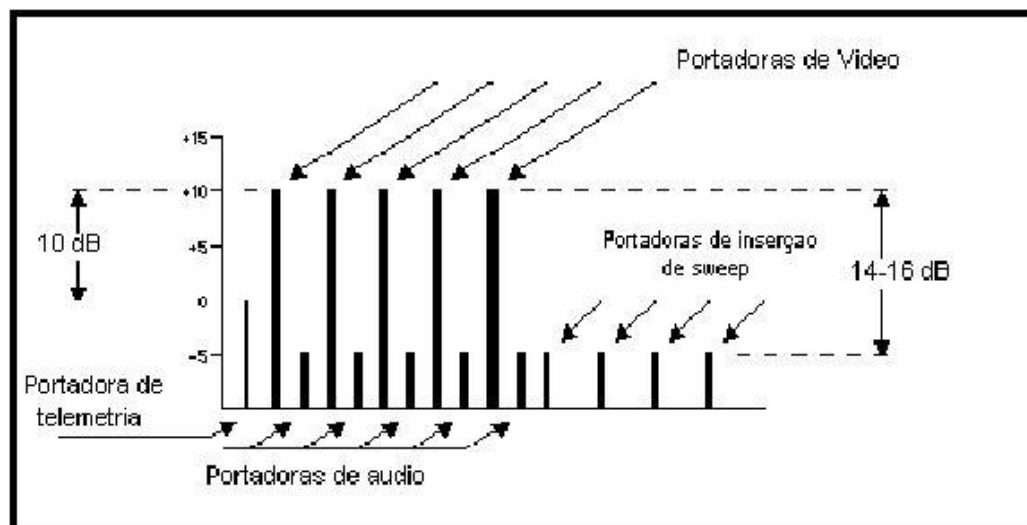


**FIGURA 27 – Diagrama de Ligação do Equipamento de Sweep**

Observa-se que o equipamento transmissor, localizado no cabeçal, mostra todos os níveis de sinais do sistema, saída do combinador da banda de descida, o qual avalia os níveis das portadoras existentes, analógicas e digitais, antes de inserir as portadoras de inserção de *Sweep*. A FIGURA 28 mostra os níveis adequados das portadoras que deverão ser seguidos para não provocar sobreposição dos sinais [2].

É importante observar através da FIGURA 28 que os níveis dos sinais, na entrada do transmissor óptico, deverão ser planos e não ultrapassar a 10dBmV de amplitude, sendo que o nível de telemetria deverá ser ajustado em 10dB abaixo e as portadoras de inserção de *Sweep* em 15dB abaixo, referenciado aos níveis dos canais analógicos.





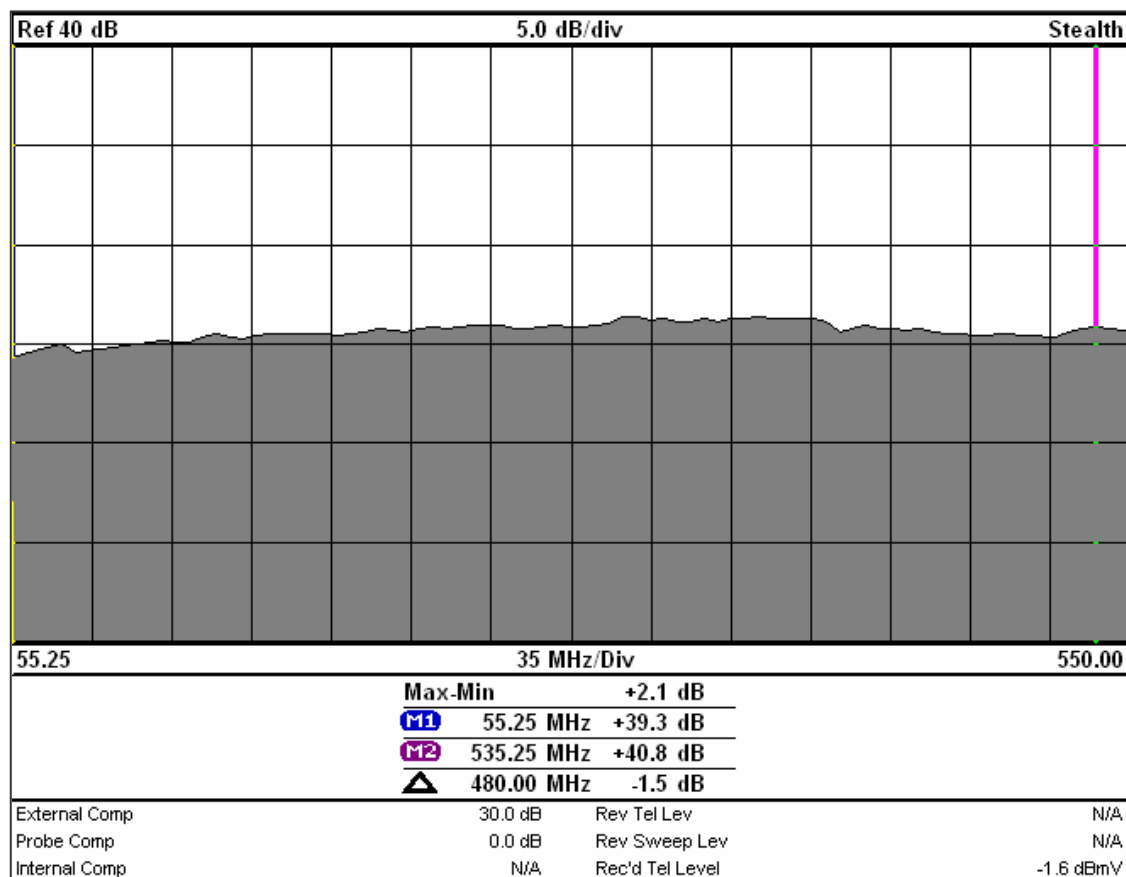
**FIGURA 28 – Níveis de Sinais do Sistema Sweep**

No caso da avaliação da resposta em frequência da banda de descida, as portadoras poderão ser avaliadas com um espaçamento de 6MHz, sendo que esse espaçamento é o suficiente para determinar as imperfeições na resposta em frequência do sistema. Isso também é devido ao fato de estarem sendo avaliadas portadoras ativas no sistema, as quais possuem um espaçamento de 6MHz.

Uma das propostas de fazer o *Sweep* da rede é dividi-la em seções e relacionar as medições com as especificações de projeto. Isso é possível tomando-se uma referência para o *Sweep* no começo de cada seção da rede. Como exemplo poderá o sistema ser dividido em três partes, cabeçal, enlace óptico e enlace coaxial.

A FIGURA 29 mostra, como exemplo, a resposta em frequência na entrada do transmissor da banda de descida no cabeçal, o qual avalia a planicidade dos sinais que serão transmitidos para a rede.

Através da FIGURA 29 observa-se a planicidade dos canais analógicos e digitais antes de serem transmitidos para a rede externa, os quais possuem uma planicidade entre 55,25 e 550MHz de 2,1dB. Esse valor não é considerado como ideal, como foi visto no item 3.3.3. Então, o cabeamento, conexões e os equipamentos passivos no cabeçal deverão ser revisados.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000.

**FIGURA 29 – Referência da Resposta em Frequência do Direto**

Para a avaliação do enlace coaxial da banda de descida, deverá ser considerado como ponto de referência a saída de cada porta de *RF* do receptor óptico, em que posteriormente à marcação da referência do gráfico da resposta em frequência do cabeçal e enlace óptico, a curva será normalizada. Isso significa que a planicidade da banda de descida, entre 55,25MHz e 550MHz, até o ponto de referência possui uma relação pico-vale de 0dB.

Posteriormente todas as demais medições ao longo da cascata de amplificadores estarão referenciadas a saída do receptor óptico, o qual indicará as imperfeições provocadas pelos diversos dispositivos da linha de transmissão, em que os mesmos deverão ser corrigidos.

Como proposta de avaliação, quando o sistema não possui canais ativos em uma determinada faixa de frequência, onde deseja-se incluir portadoras digitais para a transmissão de dados ou televisão digital, poderá ser incluído portadoras de inserção de *Sweep* espaçadas de 250kHz, resultando em uma melhor avaliação da resposta em frequência nessas faixas.

### 3.3.6 6ª ETAPA: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DA BANDA DE RETORNO

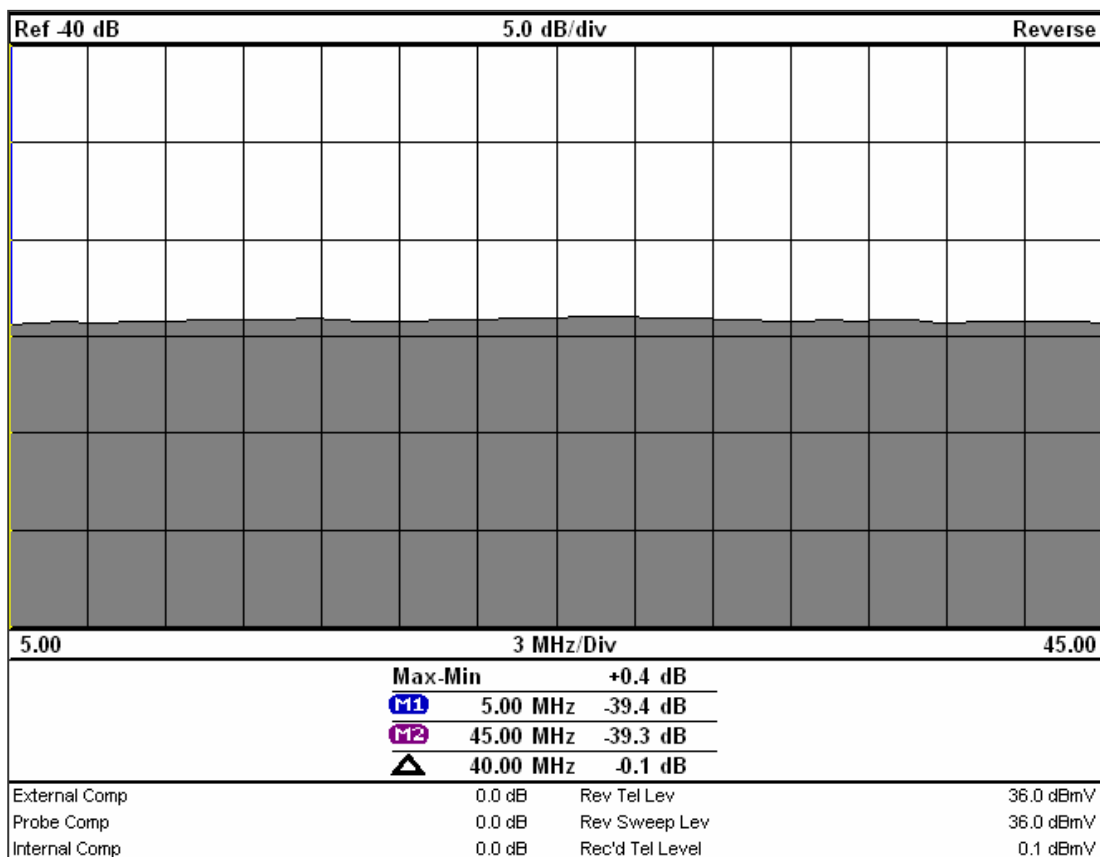
A correção da resposta em frequência da banda de retorno, também conhecida como *Sweep* reverso, segue o mesmo procedimento técnico operacional descrito na banda de descida, sendo que difere apenas dos níveis das portadoras e espaçamento entre elas.

O *Sweep* reverso, além de identificar as imperfeições da banda passante, é o procedimento técnico operacional mais adequado para o correto alinhamento da banda de retorno, pois o mesmo já possui as portadoras de inserção necessárias.

Para o *Sweep* reverso os níveis de telemetria e portadoras de inserção de *Sweep* poderão ter a mesma amplitude, apenas deve-se ter o cuidado para não deixá-las muito próximas às portadoras do serviço existente. Essa banda de guarda poderá ser de 1MHz para cima e para baixo da faixa de frequência da operação do serviço existente, que é o suficiente para não interferir ou criar sobreposição.

A FIGURA 30 mostra, como exemplo, a resposta em frequência na saída do receptor da banda de retorno no cabeçal, em que avalia a planicidade dos sinais que serão transmitidos até o transmissor de *Sweep*.

Através da FIGURA 30 observa-se que a planicidade dos sinais entre a saída do receptor óptico de retorno e o transmissor de *Sweep* no cabeçal, o qual possui uma planicidade entre 5 e 45MHz de 0,4dB. Esse valor é considerado como sendo muito bom, e indica que o cabeamento e dispositivos passivos instalados para a transmissão de sinal na banda de retorno estão em boas condições.



Nota: Medidor de campo *Acterna* modelo SDA-5000.

**FIGURA 30 – Referência da Resposta em Frequência do Reverso**

Para a avaliação do enlace coaxial da banda de retorno, deverá ser considerado como ponto de referência a saída de cada porta de *RF* do receptor óptico, em que posteriormente à marcação da referência do gráfico da resposta em frequência do cabeçal e enlace óptico, a curva será normalizada. Isso significa que a planicidade da banda de descida, entre 5MHz e 30MHz, até o ponto de referência possui uma relação pico-vale de 0dB.

### 3.3.7 7ª ETAPA: MEDIDAS DE CONFORMIDADE DOS CANAIS DIGITAIS

Esta etapa possui como principal objetivo mostrar as principais técnicas de medidas que deverão ser realizadas nos canais digitais de uma rede *HFC*, antes de ser disponibilizado comercialmente os serviços de acesso em banda larga a Internet e televisão digital a base de assinantes.

Essas medições deverão se realizadas após o termino das demais etapas descritas anteriormente, ou seja, para que se obtenha um bom desempenho nos parâmetros técnicos de qualidade dos canais digitais, *BER* e *MER*.

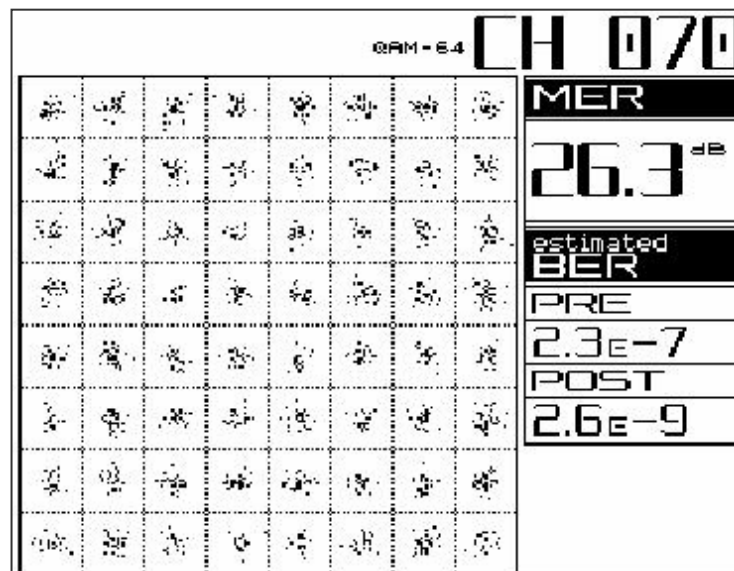
#### 3.3.7.1 CONSTELAÇÃO DO CANAL DIGITAL

A análise da constelação de um sinal digital é uma das principais ferramentas utilizadas para identificar a causa do problema que está gerando degradações na transmissão do canal digital, sendo que os principais problemas serão mostrados através dos gráficos das figuras abaixo.

Os gráficos a seguir mostram a representação da constelação para um canal digital com modulação 64-*QAM*. Para essa modulação o gráfico é dividido em quatro quadrantes, sendo que cada quadrante possui dezesseis quadrados, que representam os limites da área de decisão dos símbolos. Os pontos dentro do limite da área de decisão representam os símbolos transmitidos.

A FIGURA 31 mostra, como exemplo, o gráfico da constelação dos símbolos transmitidos do canal digital 70 (501MHz) com modulação 64-*QAM*, que possui degradação provocada por ruído térmico [2]. Observa-se que os sinais recebidos transmitidos encontram-se espalhados do centro da área dos limites de decisão.

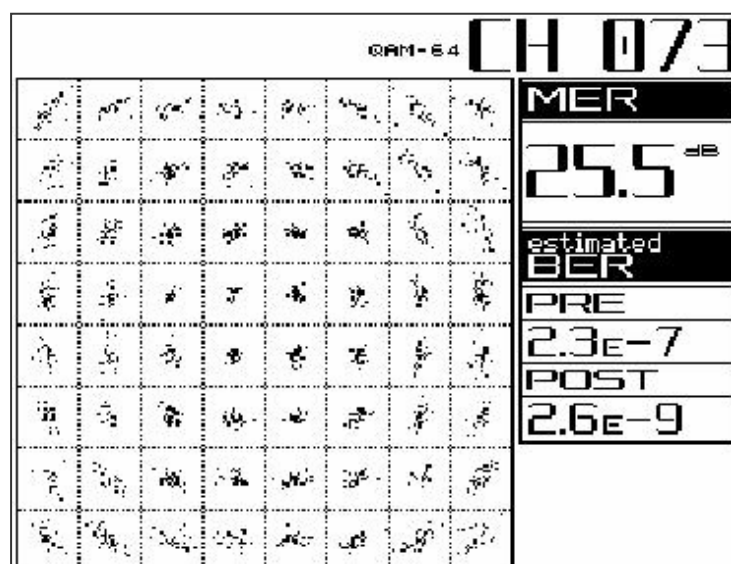
A potência do ruído térmico gerou uma taxa de erro de bit (*BER*) de  $2,3 \times 10^{-7}$  e uma relação do erro de modulação (*MER*) de 26,3dB, porém, o corretor de erro conseguiu corrigir e elevar a taxa de erro de bit para um valor de  $2,6 \times 10^{-9}$ , Pós-*FEC*.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 31 – Constelação 64-QAM com Problema de Ruído Térmico**

A FIGURA 32 mostra, como exemplo, o gráfico da constelação dos símbolos transmitidos do canal digital 73 (519MHz) com modulação 64-QAM, que possui degradação provocada por ruído de fase [2]. Observa-se que os sinais recebidos nos extremos limites da área de decisão formam um padrão circular, que poderá ser observado com maior intensidade nos extremos do gráfico.

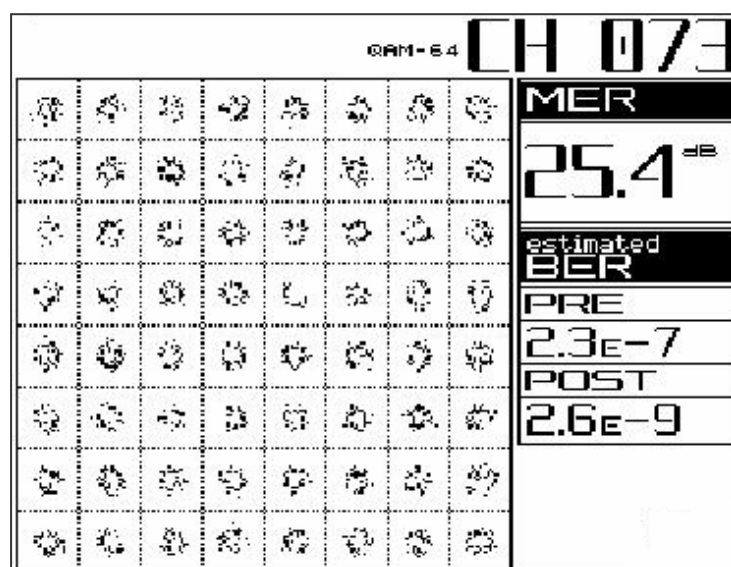


Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 32 – Constelação 64-QAM com Problema de Ruído de Fase**

A FIGURA 33 mostra, como exemplo, o gráfico da constelação dos símbolos transmitidos do canal digital 73 (519MHz) com modulação 64-QAM, que possui degradação provocada por interferência coerente [2]. Observa-se que os sinais recebidos dentro dos limites da área de decisão são agrupados de forma circular, deixando espaços vazios no meio [2].

A interferência coerente está diretamente relacionada com as distorções não lineares provocadas pelos amplificadores, tais como: *CSO* e *CTB*.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 33 – Constelação 64-QAM com Problema de Interferência Coerente**

Note que o problema de interferência coerente não alterou a taxa de erro de bit, quando comparada com a FIGURA 32, porém a relação do erro de modulação passou para um valor de 25,4dB, que é muito próximo ao valor identificado na FIGURA 32, de 25,5dB.

Existem outros problemas que possuem gráficos específicos, como a Compressão de Ganho e Desbalanço I/Q.

O problema de Compressão de Ganho é facilmente identificado pelos pontos mais externos da constelação serem deslocados mais para o centro, sendo que este problema pode ser causado por amplificadores, filtros e equalizadores danificados.

O problema de desbalanço I/Q é caracterizado pela diferença entre o ganho de I e o ganho de Q, o qual poderá ser identificado por uma constelação que apresenta uma altura maior quando comparada com a largura. Isso indica prováveis problemas com amplificadores de banda básica localizados no cabeçal ou filtros.

A TABELA 14 apresenta os valores propostos dos principais parâmetros técnicos de qualidade para a transmissão dos canais digitais, quando são utilizadas as modulações 64-*QAM* e 256-*QAM* nas redes *HFC*.

**TABELA 14 – Parâmetros da Performance dos Canais Digitais**

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidade</i>	<i>Modulação</i>	
		<i>64-QAM</i>	<i>256-QAM</i>
BER (Pré-FEC)		$1.10^{-6}$	$1.10^{-6}$
MER	dB	26 – 30	33 – 37
MER (margem)	dB	4	4
Eb / No	dB	19 – 23	24,5 – 28,5

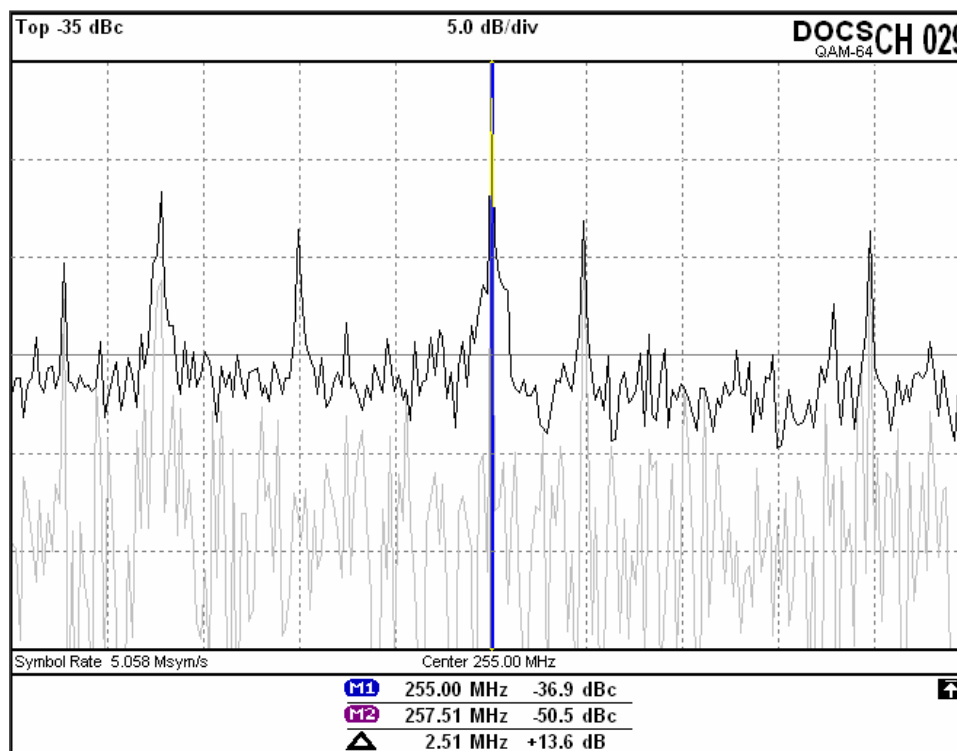
### 3.3.7.2 INGRESSO DE RUÍDO NO CANAL DIGITAL

Esta função é muito útil para identificar ingresso de ruídos ou interferências coerentes provocadas por sinais indesejáveis dentro do canal digital, sem que o mesmo seja desligado, ocasionando assim a perda da transmissão dos serviços no sistema.

Esta função possibilita a medição do nível de ruído abaixo da portadora *QAM*, que causa uma relação do erro de modulação ruim.

A FIGURA 34 mostra, como exemplo, o gráfico do analisador de espectro do canal digital 29 (255MHz) com modulação 64-*QAM*, que possui problemas de ingresso de ruído e interferências indesejadas.





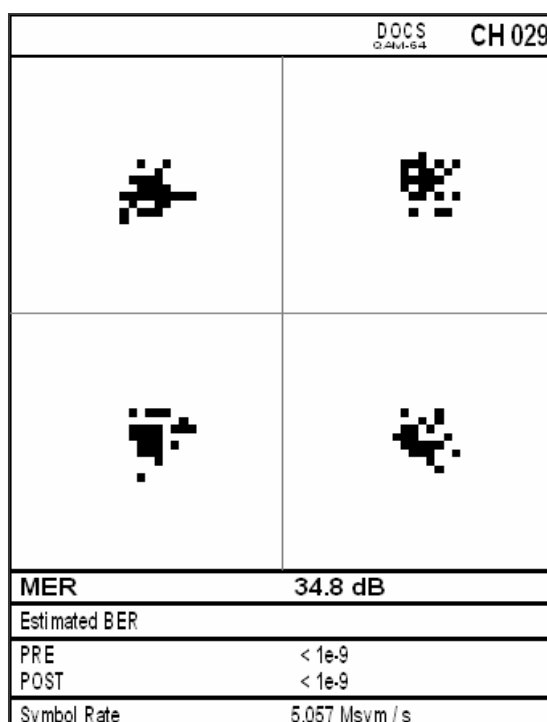
Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 34 – Ingressos de Ruído e Interferências no Canal Digital**

Através da FIGURA 34 observa-se que na frequência central do canal digital 29 ocorre o maior pico de ingresso, sendo que esta interferência está localizada a 36,9dB abaixo da portadora *QAM*, isso significa uma redução da relação de erro de modulação, sendo que se não houvesse os espúrios nas laterais a relação de erro de modulação teria o valor aproximado ao valor da relação portadora-ingresso.

Para que seja possível visualizar melhor o pico dos espúrios no gráfico do analisador de espectro, a função de retenção máxima deverá ser selecionada.

A FIGURA 35 mostra, de forma ampliada, como ficaria o gráfico da constelação dos sinais recebidos do canal digital 29 (255MHz) com modulação 64-*QAM*, que possui ingresso de ruídos e interferências indesejadas. Observa-se que a relação do erro de modulação possui um valor menor, 34,8dB, quando comparada a relação portadora-ingresso, mostrado na FIGURA 33. Se não houvesse os espúrios nas laterais a relação do erro de modulação teria seu valor muito próximo ao valor da relação portadora-ingresso, de 36,9dB, devido ao fato que os sinais recebidos estariam localizados mais no centro do limite da área de decisão.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 35 – Constelação do Canal Digital com Ingressos de Ruído**

As taxas de erro de bit não foram alteradas, sendo mantidas em um número inferior a  $1.10^{-9}$ , antes do corretor de erros e depois do corretor, ou seja, as interferências causadas não foram suficientes para afetar a taxa de erros de bit, uma vez que a relação sinal-ruído de 34,8dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 27,8dB, está muito acima do valor de 19dB, conforme mostrado no item 2.3.3.1 FIGURA 17.

### 3.3.7.3 ESTRESSE DE EQUALIZAÇÃO DO CANAL DIGITAL

A função Estresse de Equalização possibilita ao usuário identificar as micro-reflexões causadas por descasamento de impedâncias oriundas dos diversos dispositivos do sistema, as quais certamente irão provocar perdas de pacote na transmissão do sinal digital.

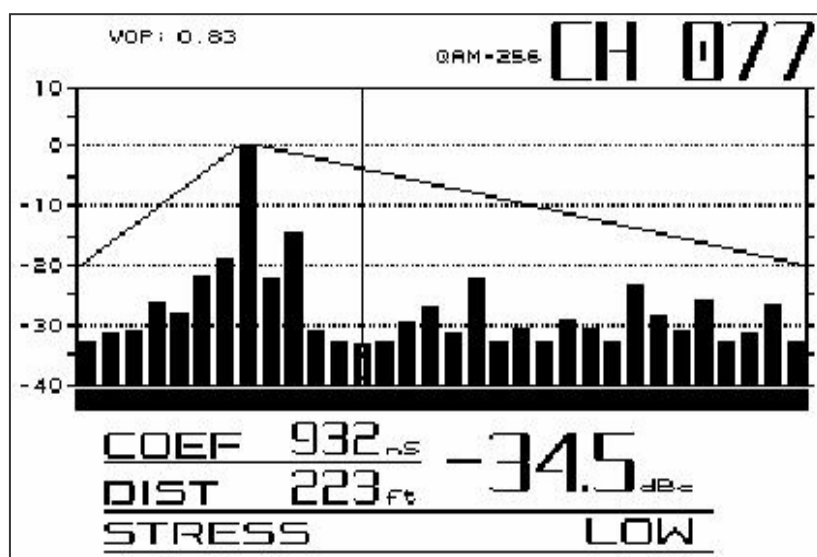
Seu funcionamento é parecido com o de um reflectômetro no domínio da frequência, em que a partir do ponto de medição é possível saber a intensidade relativa e a distância em que ocorrem reflexões dos bits transmitidos, possibilitando assim

reparar pontos de má conexão na linha de transmissão, descasamentos de impedância e avarias no cabo coaxial.

A FIGURA 36 mostra, como exemplo, o gráfico do estresse de equalização, identificado em um ponto da linha de transmissão, que foi medido no canal digital 77 (543MHz) com modulação 256-QAM, o qual apresenta baixo nível de estresse de equalização para os diferentes coeficientes do filtro adaptativo [2].

Cada barra vertical do gráfico significa um coeficiente do filtro equalizador, onde a barra mais elevada representa o local do ponto de teste da medição e os da direita a maior “máscara” de equalização. A linha descendente, localizadas à esquerda e à direita da barra mais elevada, representa a “máscara” de equalização aceitável.

Se a medição do estresse de equalização for aceitável, ou seja, todas as barras verticais estiverem abaixo da “mascara”, no campo *STRESS* indicará *LOW*, caso contrário *HIGH* [2].



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

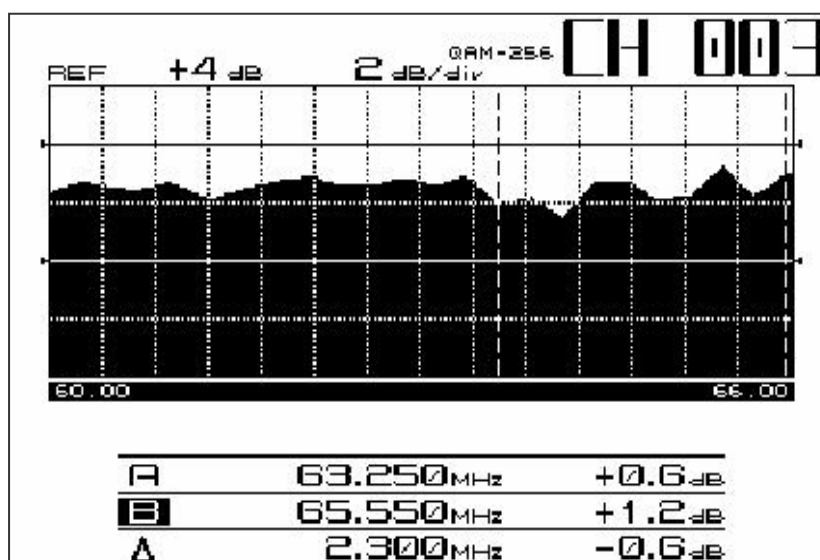
**FIGURA 36 – Estresse de Equalização do Canal Digital**

### 3.3.7.4 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO CANAL DIGITAL

Esta medição é similar às mostradas no item 3.2.5, porém diferenciada pelo fato de estar sendo analisada a resposta em frequência apenas do canal digital em questão, e principalmente, em serviço.

Problemas de distorções não lineares, como intermodulação *CTB* e *CSO*, harmônicas e resposta em frequência baixa, não podem ser resolvidos por equalização adaptativa linear, então a melhor forma de analisar a planicidade do canal digital é utilizar esta função [2].

A FIGURA 37 mostra o gráfico da resposta em frequência do canal digital 3 (63MHz) com modulação 256-QAM, o qual apresenta a planicidade de toda a faixa de frequência do canal (60 a 66MHz). Observa-se que a planicidade entre a faixa de frequência de 63,25 a 65,55MHz é de 0,6dB, isso poderá ser considerado como sendo um valor inaceitável, visto que a planicidade entre 55 a 550MHz é de 3,2dB para 5 amplificadores em cascata, ou seja, 0,04dB por 6MHz.



Nota: Medidor de campo Acterna modelo SDA-5000 OPT4.

**FIGURA 37 – Resposta em Frequência do Canal Digital**

Como proposta desse trabalho, os parâmetros técnicos de qualidade e de aceitação da planicidade dos canais digitais, que utilizam a modulação *QAM*, poderão ser considerados os seguintes valores relacionados abaixo. Esses valores foram obtidos de forma empírica.

- a) QPSK < 1,0dB
- b) 16-*QAM* < 0,4dB
- c) 32-*QAM* < 0,3dB
- d) 64-*QAM* < 0,2dB
- e) 256-*QAM* < 0,1dB

### 3.4 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou, de maneira resumida, o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho para assegurar os parâmetros técnicos de qualidade para a transmissão dos canais analógicos em uma rede *HFC*, destacando principalmente como deverá ser realizada cada etapa da metodologia.

Essa metodologia de procedimentos técnicos deverá ser seguida não somente antes da implementação dos novos serviços, mas também de forma continuada, em que os diversos dispositivos do sistema deverão estar sempre em conformidade com os parâmetros técnicos mínimos de qualidade.

As redes de televisão a cabo possuem vários dispositivos e equipamentos ao longo da linha de transmissão, os quais estão sujeitos a diferentes fatores que provocam a interrupção e a degradação dos serviços. Assim sendo, as manutenções de ordem corretiva e preventiva deverão ser realizadas com base em procedimentos e técnicas adequadas de verificação e correção. Só assim será possível garantir qualidade nos serviços disponibilizados.

A metodologia desenvolvida nesse trabalho possibilita a melhoria na transmissão dos canais analógicos de uma rede *HFC* existente, ou seja, provê a

melhoria dos parâmetros técnicos de qualidade de forma que também seja possível implementar a transmissão dos canais digitais.

A implementação da transmissão dos canais digitais junto com a transmissão dos canais analógicos na mesma infra-estrutura existente é a principal contribuição desse trabalho.

### 3.5 REFERÊNCIAS

[1] ACTERNA. **Acterna StealthWare**. Data Analysis Software. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/StealthWare/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[2] ACTERNA. **Acterna SDA-5000 Stealth Digital Analyzer**. Stealth Digital Analyzer and Sweep System. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/SDA-5000/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[3] ACTERNA. **Acterna Path Trak Return Path Monitoring System**. Path Trak Software. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/PathTrak/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[4] ACTERNA. **Acterna CLI-950, CLI-1450 and CLI-1750 Cable Leakage Meters**. Combination Leakage and Signal Level Meter. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/CLI-1450/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[5] BLONDER TONGUE. **Broadband Referece Guide 2002**. Blonder Tongue Laboratories, Inc. Old Bridge, NJ. 2001. p. 124.

[6] SCIENTIFIC-ATLANTA. **The Broadband Data Book – Transmission Networks Systems**. Scientific-Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. 2001. p. 115.

## CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

---

*Este capítulo tem como principal objetivo mostrar a aplicação da metodologia proposta e a validação dos resultados obtidos em campo. Devido aos vários resultados obtidos, será apresentado o estudo em 2 ramos dos 4 analisados da área de interesse, de forma a comprovar a eficiência da metodologia e comparar os resultados nos diferentes ramos.*

### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados o processo da aplicação da metodologia proposta e a validação dos resultados obtidos em campo, assim como uma breve discussão da implementação da metodologia.

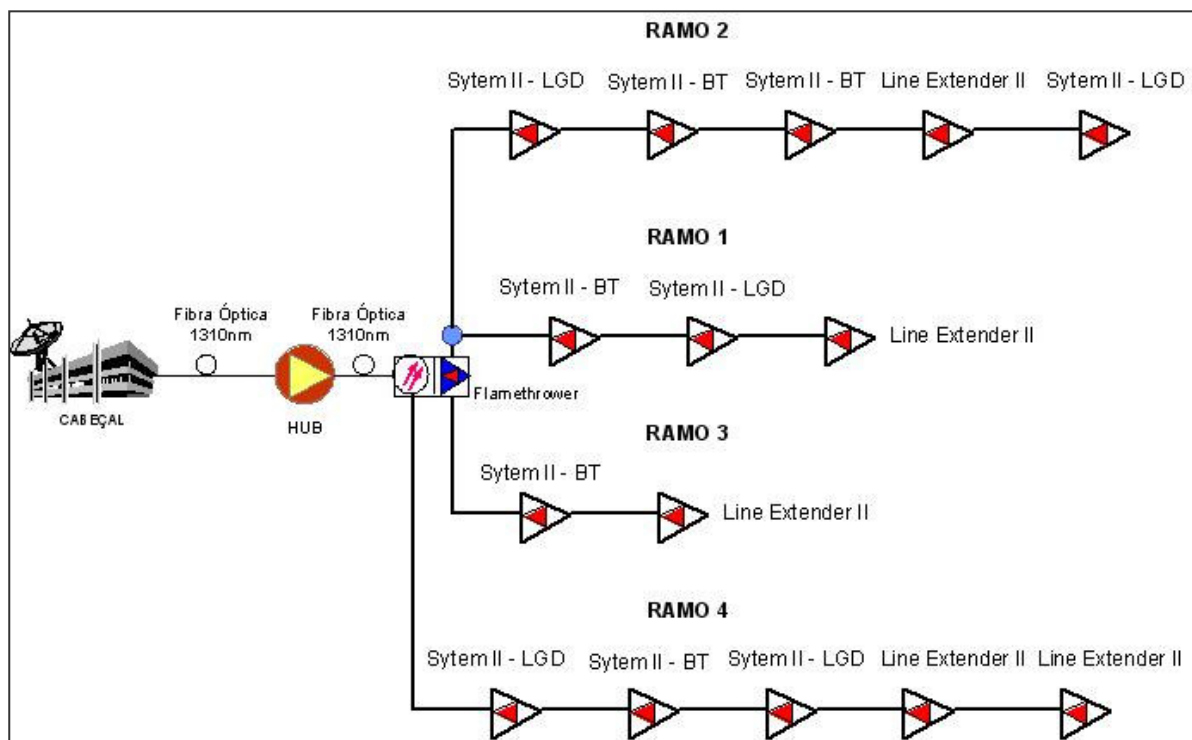
### 4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Primeiramente, antes de iniciar a validação dos resultados, faz-se necessário mostrar a topologia da área da rede existente, que serviu como base para os testes e medições neste trabalho, bem como, os níveis operacionais de entrada e saída do receptor óptico e dos amplificadores, os quais foram estabelecidos através da planilha de cálculo dos parâmetros técnicos de qualidade antes da implementação em campo.

A arquitetura da rede existente, que é o foco do estudo deste trabalho, foi construída no início da década de 90 na cidade de São Paulo.

A rede existente apresenta uma topologia celular do tipo padrão, a qual compreende uma banda passante máxima no sentido direto entre 46 e 550MHz e uma banda passante no sentido reverso entre 5 e 30MHz, com amplificadores da rede coaxial da linha *System II* de fabricação da *Scientific Atlanta* e receptor óptico da linha *Flamethrower* de fabricação da *Texscan Communication*.

A FIGURA 38 mostra a arquitetura da área de estudo desse trabalho onde foi aplicada a metodologia proposta, bem como as medições para a validação dos resultados obtidos.



**FIGURA 38 – Topologia da Rede Existente**

A topologia mostrada na FIGURA 38 representa o pior caso da cascata de amplificadores em cada ramo da saída do receptor óptico, o qual atribui-se como sendo o pior caso para o cálculo dos parâmetros técnicos de qualidade de cada sub-célula.

Independentemente da escolha dos ramos para as medições, a metodologia proposta nesse trabalho foi desenvolvida em toda a célula.

A TABELA 15 mostra as principais características técnicas da área em estudo, bem como a extensão de rede coaxial, número total de amplificadores instalados, número máximo de amplificadores em cascata e número de assinantes conectados.



**TABELA 15 – Principais Parâmetros da Rede Existente**

Parâmetros	Valor
Classificação da Arquitetura Celular	Padrão
Extensão da Rede Coaxial	7,716 km
Número de Ativos Instalados na Rede	55
Cascata de Amplificadores (máximo)	6
Largura de Banda no Sentido Direto	46 a 550 MHz
Largura de Banda no Sentido Reverso	5 a 30 MHz
Domicílios Atendidos pela Rede HFC	2.542 HP
Assinantes Pay TV	1.612
Taxa de Penetração Pay TV	63,4 %
Assinantes Cable Modem	101
Taxa de Penetração Cable Modem	4,0 %

FONTE: Operadora de TV a Cabo Net- São Paulo Node: IBIS janeiro de 2005.

A TABELA 16 mostra as principais características do plano de frequência da rede existente.

**TABELA 16 – Plano de Frequência da Rede Existente**

Parâmetros	Valor
Classificação	Padrão (PFP)
Número de Portadoras Analógica @ 6MHz (sentido direto)	68
Número de Portadoras Digitais @ 6MHz – 256QAM (sentido direto)	8
Número de Portadoras Digitais @ 6MHz – 64QAM (sentido direto)	1
Número de Portadoras Digitais @ 6MHz – 16QAM (sentido direto)	1
Número de Portadoras Digitais @ 3,2MHz – QPSK (sentido reverso)	1
Número de Portadoras Digitais @ 5MHz – 16QAM (sentido reverso)	1

FONTE: Operadora de TV a Cabo Net- São Paulo Node: IBIS janeiro de 2005.

A TABELA 17 mostra os níveis operacionais estabelecidos na entrada e na saída dos amplificadores da rede *HFC* existente. Os níveis dos sinais foram determinados através da planilha de cálculo dos parâmetros técnicos de qualidade, mencionada no item 3.2.

**TABELA 17 – Níveis Operacionais de Entrada e Saída dos Amplificadores**

Modelo do Equipamento	Frequência (MHz)	Níveis dos Amplificadores Troncais (dBmV)				Níveis dos Amplificadores de Distribuição (dBmV)			
		Manual		Termal		Manual		Termal	
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Flamethrower	550	16	35	-	-	-	-	-	-
	50	16	26	-	-	-	-	-	-
System II - UBT	550	-	-	12	38	-	-	12	44
	50	-	-	10	31	-	-	10	37
System II - LGD	550	10	38	10	38	15	44	16	44
	50	9	31	9	31	13	37	14	37
System II - BT	550	11	38	14	38	17	44	20	44
	50	10	31	13	31	16	37	19	37
Line Extender II	550	-	-	-	-	12	44	15	44
	50	-	-	-	-	10	37	13	37

Os valores obtidos na TABELA 17 resultaram no melhor desempenho dos parâmetros técnicos de qualidade da rede *HFC* existente, em que os mesmos foram estabelecidos como sendo padrão para esses modelos de equipamentos na topologia da rede instalada.

A sigla “Manual” significa que o amplificador não possui compensação de ganho na entrada do segundo módulo híbrido de amplificação, ou seja, o amplificador não irá compensar as perdas dos sinais na entrada pelo efeito da dilatação térmica da linha de transmissão coaxial. A sigla “Termal” significa que o amplificador possui o módulo de compensação de ganho.

Dependendo do modelo do amplificador, o nível de sinal na entrada deverá ser maior quando o módulo de compensação de ganho for instalado, isso irá depender do ganho operacional do amplificador. No caso do modelo *System II-LGD* na posição “Troncal” os níveis dos sinais na entrada permaneceram os mesmos, isso não foi possível para os demais.

A nomenclatura “Troncal” significa que entre um amplificador e outro não existem componentes passivos para a distribuição de sinal aos assinantes e a nomenclatura “Distribuição” significa que existem componentes de distribuição de sinal para os assinantes.

Na linha de transmissão “Troncal” os níveis dos sinais na saída dos amplificadores são menores em relação a linha de transmissão de “Distribuição”, isso se deve ao fato que a linha de transmissão “Troncal” é projetada para obter o melhor desempenho em relação às distorções não lineares.

Existe um compromisso entre a relação portadora-ruído e as relações de distorções, sendo que melhorando 1dB na relação portadora-ruído, irá provocar uma degradação de 2dB na relação portadora-batimento composto de terceira ordem e 1dB na relação portadora-distorção de segunda ordem composta dos amplificadores. Esse compromisso entre as relações é observado quando se faz o comparativo dos resultados obtidos através das Equações (2.23), (2.31) e (2.35).

#### **4.3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA**

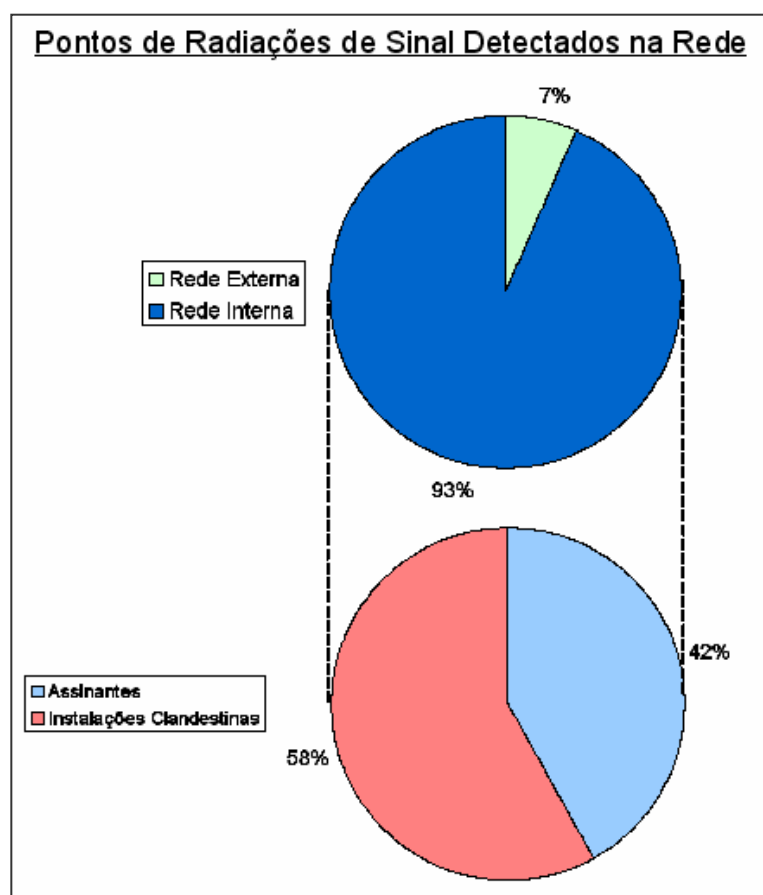
Devido aos vários resultados obtidos ao longo dos quatro ramos da área de interesse estudada, foram escolhidos dois ramos da cascata de amplificadores, de forma que seja possível comparar os diferentes resultados dos parâmetros técnicos de qualidade da rede *HFC*, tanto para os canais analógicos como para os canais digitais. Todos os resultados obtidos das medições realizadas em campo dos dois ramos estão referenciados no APÊNDICE II.

Para que seja validada a metodologia proposta dos trabalhos técnicos em campo, foram realizadas todas as verificações e correções da célula escolhida.

#### 4.3.1 DETECÇÃO DO NÍVEL DE RADIAÇÃO DOS SINAIS

Na área que serviu como referência de estudo neste trabalho foram identificados 59 pontos de emissão do sinal de rádio frequência da rede, onde os níveis das radiações variaram entre  $15\mu\text{V/m}$  e  $1.500\mu\text{V/m}$ , sendo que todos os pontos identificados estão referenciados através do APÊNDICE III.

Os gráficos da FIGURA 39 mostram os principais problemas encontrados na área de verificação, sendo que a rede externa representou 7% de todos os pontos encontrados. Na parte da rede interna, o principal motivo foram os pontos de instalações clandestinas, representando 58% dos problemas encontrados internamente, e 54% de todos os problemas detectados.



**FIGURA 39 – Pontos de Irradiações Detectados na Rede HFC**

#### 4.3.2 ESTUDO DE CASO DO RAMO I

No primeiro estudo de caso deste trabalho foi escolhido o Ramo I da linha de transmissão e distribuição da área de interesse, o qual possui uma cascata de quatro amplificadores, considerando o estágio de amplificação do receptor óptico da célula.

##### 4.3.2.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS ANALÓGICOS

Para as medições dos parâmetros técnicos de qualidade dos canais analógicos foram utilizadas diferentes faixas de frequência, sendo medidos os canais 6, 16, 37 e 57 do plano de canais do sistema de distribuição existente da operadora. Esses canais correspondem, respectivamente, às faixas de frequências de 83,25MHz, 133,25MHz, 301,25MHz e 421,25MHz.

Foi estabelecido para os gráficos da cascata de amplificadores do Ramo I a faixa de frequência do canal 37, em 301,25MHz, para a relação portadora-batimento composto de terceira ordem, devido ao fato desse canal corresponder ao maior número de batimentos em um sistema de 77 canais, conforme mostrado no item 2.2.2.1 FIGURA 13. E, foi estabelecida a faixa de frequência do canal 57, em 421,25MHz, para a relação portadora-distorção de segunda ordem composta, conforme mostrado no item 2.2.2.1 FIGURA 12.

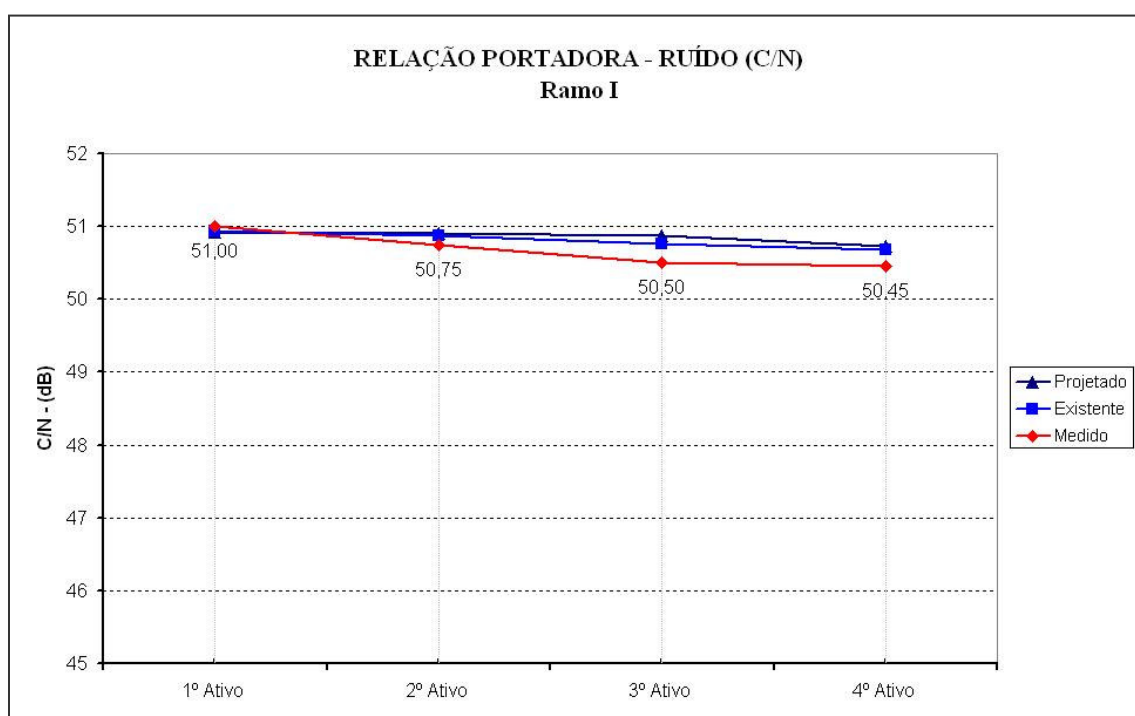
Para a avaliação dos parâmetros técnicos de qualidade da rede existente, foram levantados os níveis dos sinais inicialmente projetados na entrada e na saída dos amplificadores (Projetado), e posteriormente, calculados na planilha dos parâmetros técnicos de qualidade, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Projetados” no APÊNDICE II.

Para que fosse possível comparar e validar a metodologia aplicada foram realizadas medições dos níveis dos sinais, entrada e saída, do receptor óptico e amplificadores existentes do Ramo I (Existente). Após, foram novamente realizados os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade com esses níveis, sendo que todos os

valores obtidos estão referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.

Por fim, foi comparado com os valores efetivamente medidos, através do equipamento de campo específico para essas medições (Medido).

A FIGURA 40 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-ruído ao longo da cascata de amplificadores do Ramo I, em que apresenta o comparativo dos níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-ruído foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz.

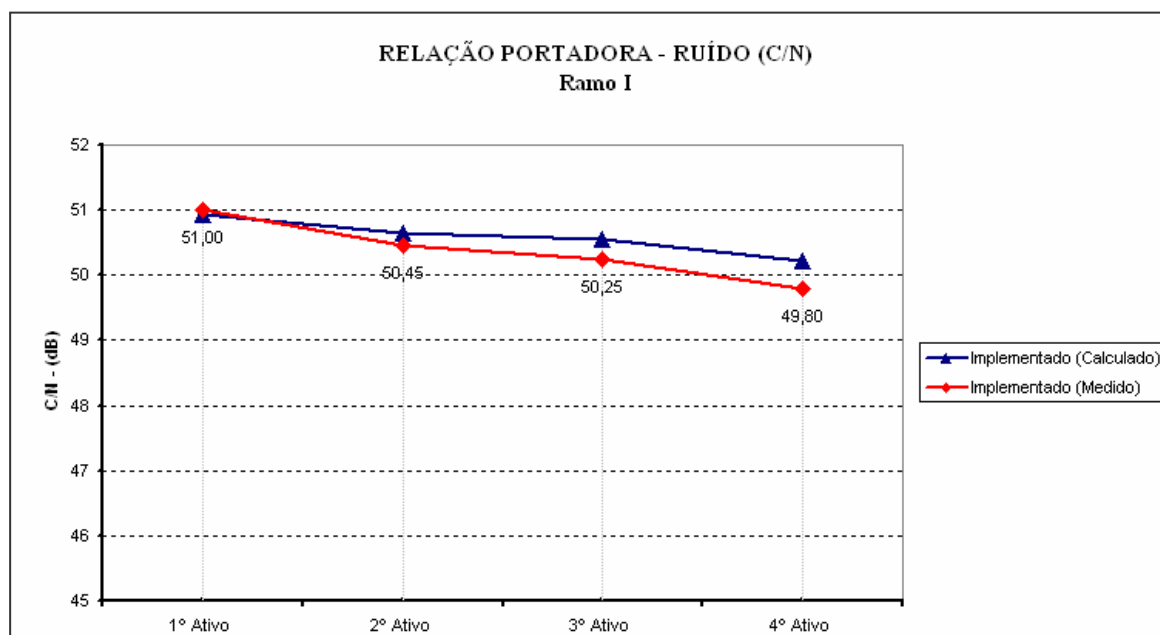


**FIGURA 40 – Ramo I: C/N – Níveis Projetado, Existente e Medido**

Observa-se que os níveis da relação portadora-ruído mostraram-se muito acima do valor mínimo estabelecido na norma, de 45dB, o que significa um alto desempenho nesse parâmetro, do ponto de vista avaliativo dessa relação.

A FIGURA 41 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-ruído ao longo da cascata de amplificadores do Ramo I, em que apresenta o comparativo dos níveis implementados (Implementado calculado), conforme os valores da TABELA 17 e os níveis medidos (Implementado medido). Para o valor medido da relação portadora-ruído foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo

que todos os valores obtidos estão referenciados como “RamoI–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.



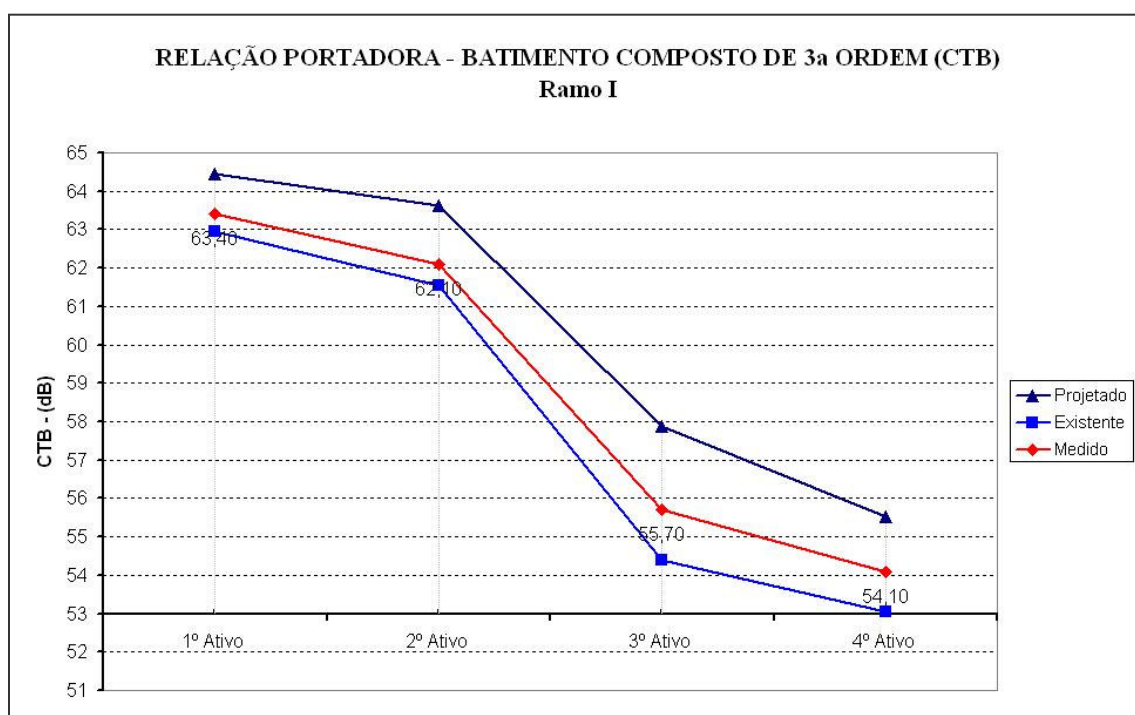
**FIGURA 41 – Ramo I: C/N – Níveis Implementados**

Observa-se que os níveis da relação portadora-ruído mostraram-se também muito acima do valor mínimo estabelecido em norma, de 45dB, mostrando também um alto desempenho nesse parâmetro, porém, o último amplificador da cascata (4° Ativo) obteve um valor implementado medido de 0,65dB abaixo quando comparado ao nível medido da FIGURA 40.

Os níveis da relação portadora-ruído, mostrados nos gráficos 40 e 41, se devem ao fato dos níveis dos sinais na entrada dos amplificadores serem elevados, ou seja, foram projetados para trabalharem com níveis bem acima da figura de ruído, aproximadamente 7,5dB para os amplificadores troncais e distribuição e 9,6dB para os amplificadores de linha.

Na FIGURA 40, os níveis dos sinais na saída dos amplificadores foram projetados para 2dB acima, quando comparado aos níveis de sinais implementados, isso para os amplificadores de distribuição e 3dB abaixo para os amplificadores troncais, referenciado a frequência do canal mais elevado do sistema.

A FIGURA 42 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-batimento composto de terceira ordem ao longo da cascata de amplificadores do Ramo I, em que apresenta o comparativo dos níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-batimento composto de terceira ordem foi atribuído o valor da portadora do canal 37, em 301,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.

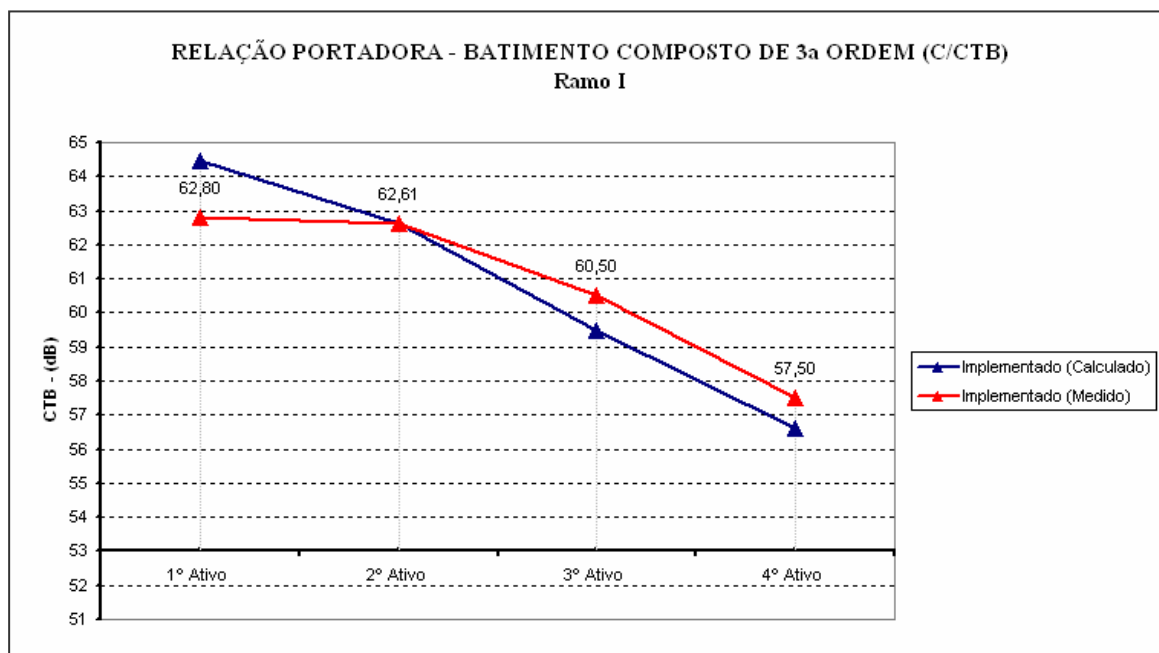


**FIGURA 42 – Ramo I: CTB – Níveis Projetado, Existente e Medido**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 42 que os níveis dos sinais projetados estabelecem uma relação portadora-batimento composto de terceira ordem acima do valor mínimo estabelecido na norma, de 53dB, sendo que no final da cascata de amplificadores (4º Ativo) esse valor correspondeu a 55,53dB. Porém, calculando com os níveis de sinais existentes em campo, essa relação diminuiu para 53,06dB, ou seja, ficando no limite mínimo estabelecido em norma. O valor medido de 54,10dB, apenas comprovou a degradação da linha de transmissão.

A FIGURA 43 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-batimento composto de terceira ordem do Ramo I para os níveis implementados.





**FIGURA 43 – Ramo I: CTB – Níveis Implementados**

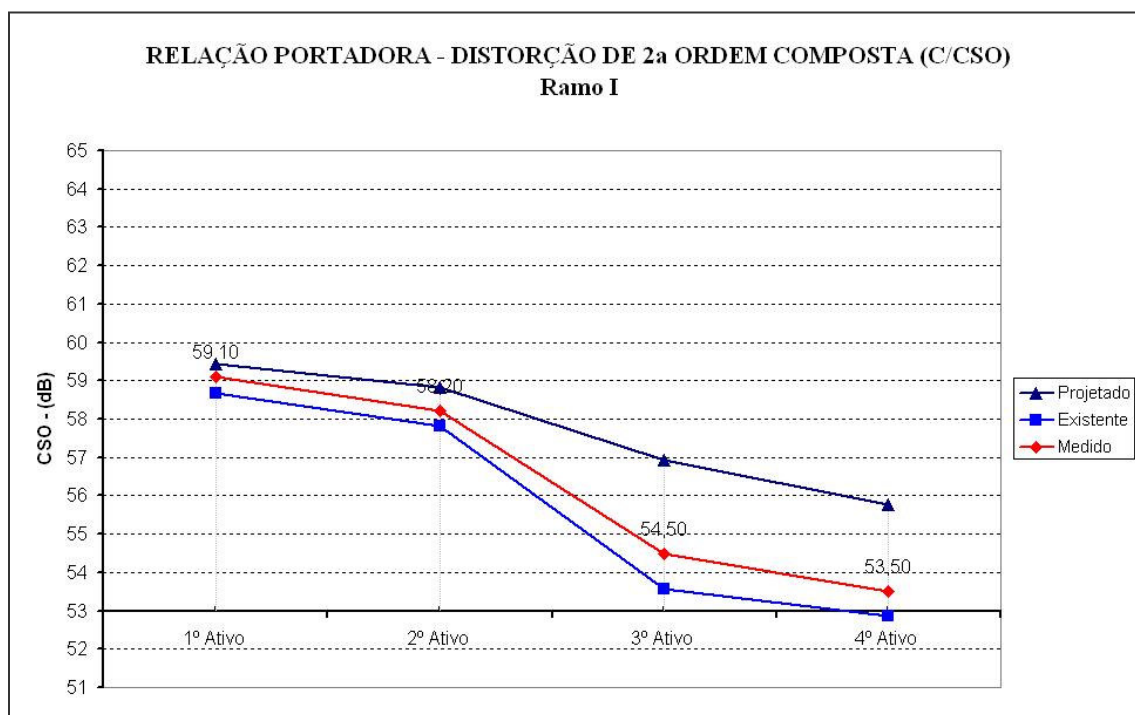
A FIGURA 43 apresenta o comparativo dos níveis implementados conforme a TABELA 17 e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-batimento composto de terceira ordem foi atribuído o valor da portadora do canal 37, em 301,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.

Observa-se através do gráfico da FIGURA 43 um aumento significativo na relação portadora-batimento composto de terceira ordem, sendo que seu valor implementado medido no final da cascata (4º Ativo), de 57,5dB, ficou 3,4dB acima do valor medido no gráfico da FIGURA 42 e 4,5dB acima do referenciado em norma, de 53dB.

O valor medido no primeiro amplificador estabeleceu uma relação inferior ao projetado, 1,64dB abaixo, isso se deve ao fato da relação portadora-batimento composto de terceira ordem projetada nesse ponto ser bastante elevada, 64,44dB, provocando assim, uma margem de erro de leitura de quase 2dB.

A FIGURA 44 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-distorção de segunda ordem composta do Ramo I, em que apresenta o comparativo dos níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos. Para o valor medido da relação

portadora-distorção de segunda ordem composta foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.



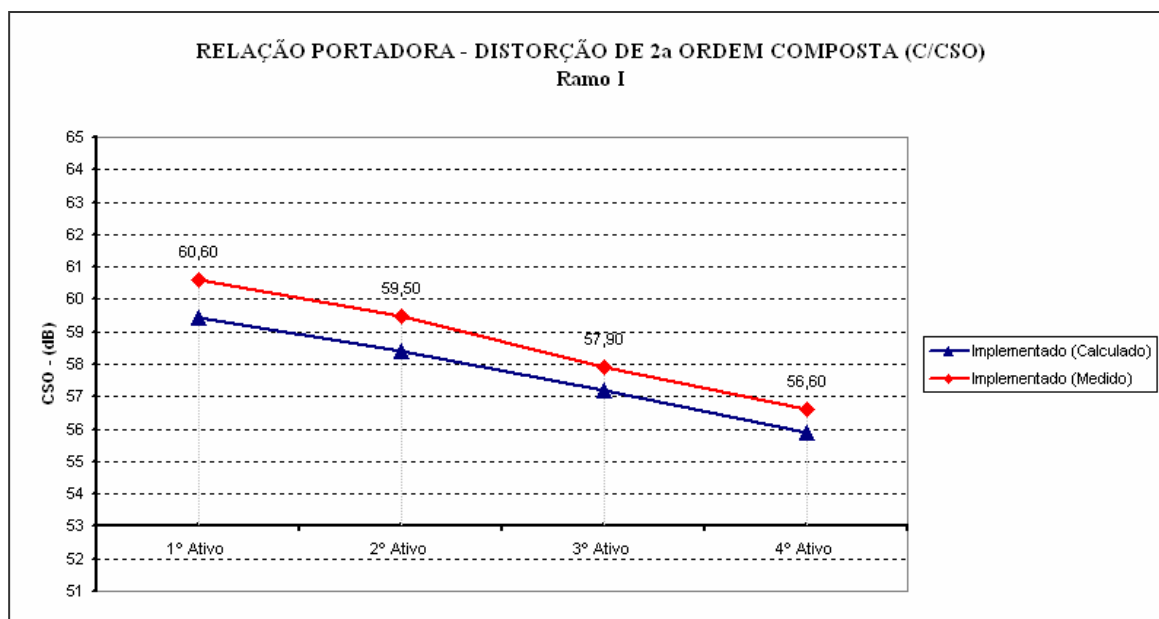
**FIGURA 44 – Ramo I: CSO – Projetado, Existente e Medido**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 44, que os níveis dos sinais projetados estabelecem uma relação portadora-distorção de segunda ordem composta acima do valor mínimo estabelecido na norma, de 53dB, sendo que ao final da cascata de amplificadores (4º Ativo) esse valor correspondeu a 55,77dB.

Porém, calculando com os níveis dos sinais existentes em campo, essa relação diminuiu para 52,87dB no final da cascata, ou seja, ficando abaixo do mínimo estabelecido em norma. O valor medido nesse ponto foi de 53,5dB, comprovando a degradação da linha de transmissão em relação aos valores inicialmente projetados.

A FIGURA 45 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-distorção de segunda ordem composta do Ramo I, em que apresenta o comparativo dos níveis implementados, conforme a TABELA 17 e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-distorção de segunda ordem composta foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão

referenciados como “Ramo I–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.



**FIGURA 45 – Ramo I: CSO – Níveis Implementados**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 45 um incremento significativo do nível da relação portadora-distorção de segunda ordem composta, sendo que seu valor implementado medido no final da cascata amplificadores do Ramo I (4º Ativo), quando comparado com o valor medido da FIGURA 44 no mesmo ponto, ficou 3,1dB acima, ou seja, 3,6dB acima do referenciado em norma, de 53dB.

#### 4.3.2.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS DIGITAIS

Para as medições dos parâmetros técnicos de qualidade dos canais digitais foram utilizadas diferentes faixas de frequência, sendo que foram medidos os canais 8, 12, 29, 71 e 78 do plano de canais do sistema de distribuição existente da operadora, em que esses canais correspondem respectivamente às faixas de frequências de 103, 207, 255, 507 e 549MHz.

Os canais 8, 12, 71 e 78 possuem modulação 256-QAM, os quais foram disponibilizados para o transporte do serviço de televisão digital. O canal 29 possui modulação 64-QAM, o qual é utilizado para o transporte do serviço de *cable modem*.

A TABELA 18 mostra as medições realizadas nos canais digitais do Ramo I, sendo que os valores obtidos representam a condição da rede existente antes de ser aplicada a metodologia proposta em campo.

Através da TABELA 18 observa-se que a taxa de erro de bit ao longo da cascata de amplificadores, do 1º ao 4º Ativo, para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram valores de erros de bit Pré-*FEC* entre  $1.10^{-8}$  e  $5.10^{-7}$ , tendo o canal digital 71 a pior taxa de erro de bit no final da cascata, com o valor de  $5.10^{-7}$ .

O canal digital 29, com modulação em 64-*QAM*, não sofreu degradação, mantendo a taxa de erro de bit Pré-*FEC* em  $1.10^{-9}$ , o que significa um excelente desempenho.

**TABELA 18 – Medições dos Canais Digitais do Ramo I -Existente**

<b>MEDIÇÕES RAMO I</b>							
+ Níveis de Sinais Existentes (med)		Cascata	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	
Canal 08 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	3,0E-08	4,0E-08	9,0E-08	2,0E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	37,5	37,0	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,0	28,5	
Canal 12 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-08	9,0E-08	9,0E-08	3,0E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,5	37,5	37,0	
	Eb/No	dB	29,0	29,0	29,0	28,5	
Canal 29 64-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	35,0	34,5	34,5	34,0	
	Eb/No	dB	28,0	27,5	27,5	27,0	
Canal 71 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	4,0E-07	3,0E-07	2,0E-07	5,0E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,5	37,0	37,0	
	Eb/No	dB	29,0	29,0	28,5	28,5	
Canal 78 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	4,0E-08	2,0E-07	5,0E-08	2,0E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,0	37,0	37,0	
	Eb/No	dB	29,0	28,5	28,5	28,5	

Através da TABELA 18 observa-se que a relação do erro de modulação no final da cascata de amplificadores (4º Ativo), para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram uma relação na ordem de 37dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 28,5dB, o que significa um alto desempenho, quando comparados com aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1, porém, todos os canais sofreram uma degradação de 0,5dB a 1dB em relação aos dois primeiros ativos da cascata.

O canal digital 29, com modulação 64-*QAM*, obteve um valor na relação do erro de modulação de 34dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 27dB, no final da cascata (4º Ativo), o que significa também um alto desempenho quando comparado aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1, sendo que apenas degradou 1dB em relação ao primeiro ativo da cascata.

A TABELA 19 mostra as medições realizadas nos canais digitais do Ramo I, sendo que os valores obtidos representam a condição da rede existente após ser aplicada a metodologia proposta em campo.

Através da TABELA 19 observa-se que a taxa de erro de bit ao longo da cascata de amplificadores, do 1º ao 4º Ativo, para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram valores de erros de bit Pré-*FEC* entre  $1.10^{-9}$  e  $9.10^{-8}$ , o que representa uma melhora significativa quando comparado aos valores da TABELA 18.

O canal digital 29, com modulação em 64-*QAM* manteve a taxa de erro de bit Pré-*FEC* em  $1.10^{-9}$ , o que significa também um excelente desempenho.

Através da TABELA 19 observa-se que a relação do erro de modulação no final da cascata de amplificadores (4º Ativo), para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram uma relação acima de 37,5dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 29dB, o que significa um alto desempenho, quando comparados com aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1, porém, todos os canais sofreram uma degradação de 0,5dB em relação ao primeiro ativo da cascata.

O canal digital 29, com modulação 64-QAM, permaneceu com um valor na relação do erro de modulação de 34dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 27dB, no final da cascata (4º Ativo), o que significa que não alterou seu desempenho em relação ao valor antes da aplicação da metodologia.

**TABELA 19 – Medições dos Canais Digitais do Ramo I - Implementado**

<b>MEDIÇÕES RAMO I</b>							
	<b>Níveis de Sinais Implementados (med)</b>	Cascata	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	
<b>Canal 08</b> 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	7,0E-09	1,0E-09	6,0E-08	1,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	38,0	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,5	29,0	
<b>Canal 12</b> 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-08	3,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,0	29,0	
<b>Canal 29</b> 64-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	35,0	34,5	34,5	34,0	
	Eb/No	dB	28,0	27,5	27,5	27,0	
<b>Canal 71</b> 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	6,0E-08	9,0E-08	2,0E-08	8,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,0	29,0	
<b>Canal 78</b> 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	2,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	37,5	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,0	29,0	29,0	

### 4.3.3 ESTUDO DE CASO DO RAMO II

No segundo estudo de caso deste trabalho foi escolhido o Ramo II da linha de transmissão e distribuição da área de interesse, o qual possui uma cascata de seis amplificadores, considerando o estágio de amplificação do receptor óptico da célula.

#### 4.3.3.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS ANALÓGICOS

Para as medições dos parâmetros técnicos de qualidade dos canais analógicos no Ramo II foram realizados os mesmos procedimentos adotados no Ramo I.

Foi estabelecido para os gráficos da cascata de amplificadores do Ramo II a faixa de frequência do canal 37, em 301,25MHz, para a relação portadora-batimento composto de terceira ordem e a faixa de frequência do canal 57, em 421,25MHz, para a relação portadora-distorção de segunda ordem composta.

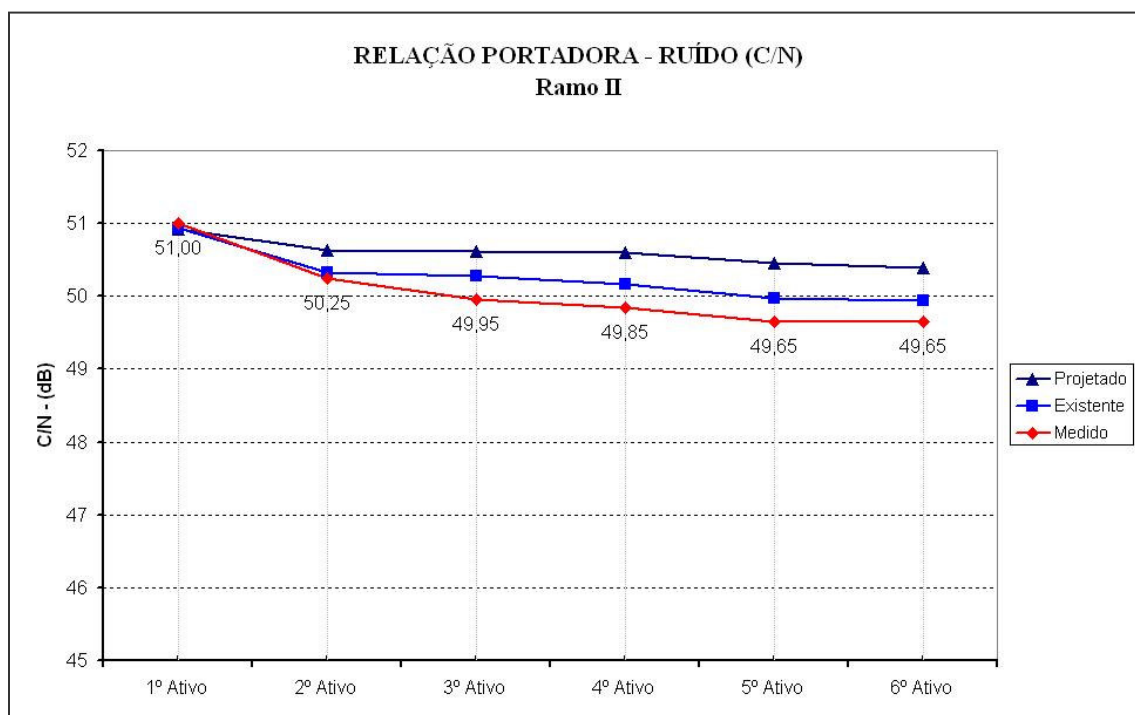
Para a avaliação dos parâmetros técnicos de qualidade da rede existente, foram levantados os níveis dos sinais inicialmente projetados na entrada e na saída dos amplificadores (Projetado), e posteriormente, calculados na planilha dos parâmetros técnicos de qualidade, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Projetados” no APÊNDICE II.

Para que fosse possível comparar e validar a metodologia aplicada foram realizadas medições dos níveis dos sinais, entrada e saída, do receptor óptico e amplificadores existentes do Ramo II (Existente). Após, foram novamente realizados os cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade com esses níveis, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.

Por fim, foi comparado com os valores efetivamente medidos, através do equipamento de campo específico para essas medições (Medido).

A FIGURA 46 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-ruído ao longo da cascata de amplificadores do Ramo II, em que apresenta o comparativo dos

níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-ruído foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz.

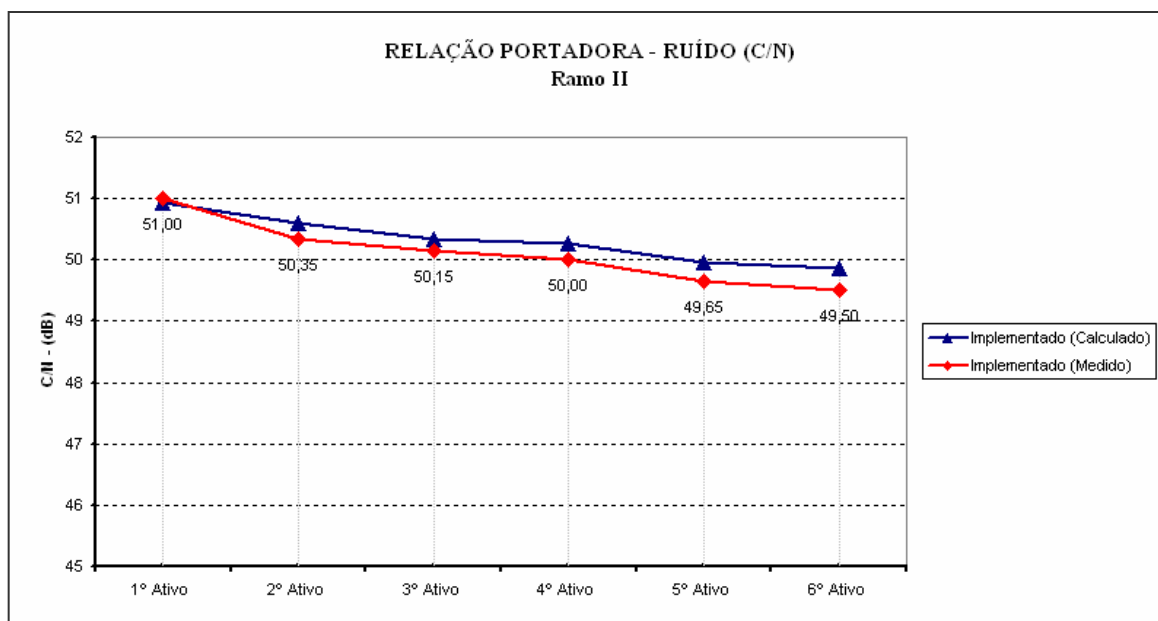


**FIGURA 46 – Ramo II: C/N – Níveis Projetado, Existente e Medido**

Observa-se que os níveis da relação portadora-ruído mostraram-se muito acima do valor mínimo estabelecido em norma, de 45dB, o que significa um alto desempenho nesse parâmetro, do ponto de vista avaliativo dessa relação.

A FIGURA 47 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-ruído ao longo da cascata de amplificadores do Ramo II, em que apresenta o comparativo dos níveis implementados (Implementado calculado), conforme os valores da TABELA 17 e os níveis medidos (Implementado medido). Para o valor medido da relação portadora-ruído foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “RamoII–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.





**FIGURA 47 – Ramo II: C/N – Níveis Implementados**

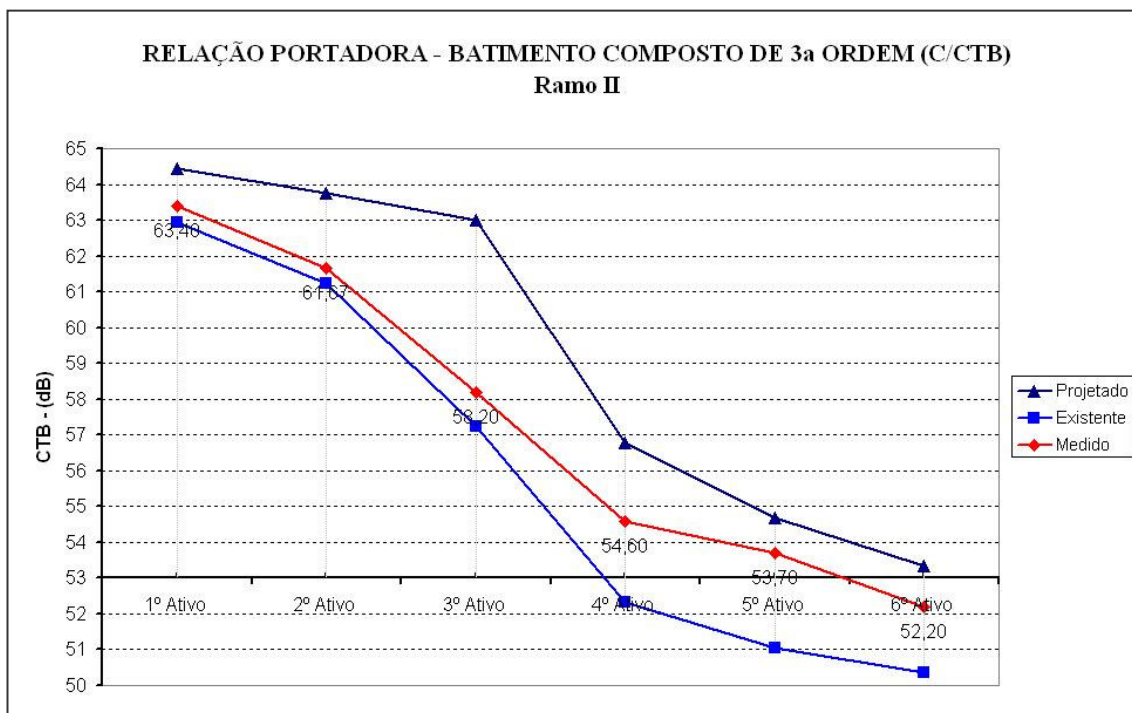
Observa-se que os níveis da relação portadora-ruído mostraram-se também muito acima do valor mínimo estabelecido em norma, de 45dB, mostrando também um alto desempenho nesse parâmetro, porém, o último amplificador da cascata (6º Ativo) obteve um valor implementado medido de 0,15dB abaixo quando comparado ao nível medido da FIGURA 46.

Os níveis da relação portadora-ruído, mostrados nos gráficos 46 e 47, se devem ao fato dos níveis dos sinais na entrada dos amplificadores serem elevados, ou seja, foram projetados para trabalharem com níveis bem acima da figura de ruído, aproximadamente 7,5dB para os amplificadores troncais e distribuição e 9,6dB para os amplificadores de linha.

Na FIGURA 46, os níveis dos sinais na saída dos amplificadores foram projetados para 2dB acima, quando comparado aos níveis de sinais implementados, isso para os amplificadores de distribuição e 3dB abaixo para os amplificadores troncais, referenciado a frequência do canal mais elevado do sistema.

A FIGURA 48 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-batimento composto de terceira ordem ao longo da cascata de amplificadores do Ramo II, em que apresenta o comparativo dos níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos.

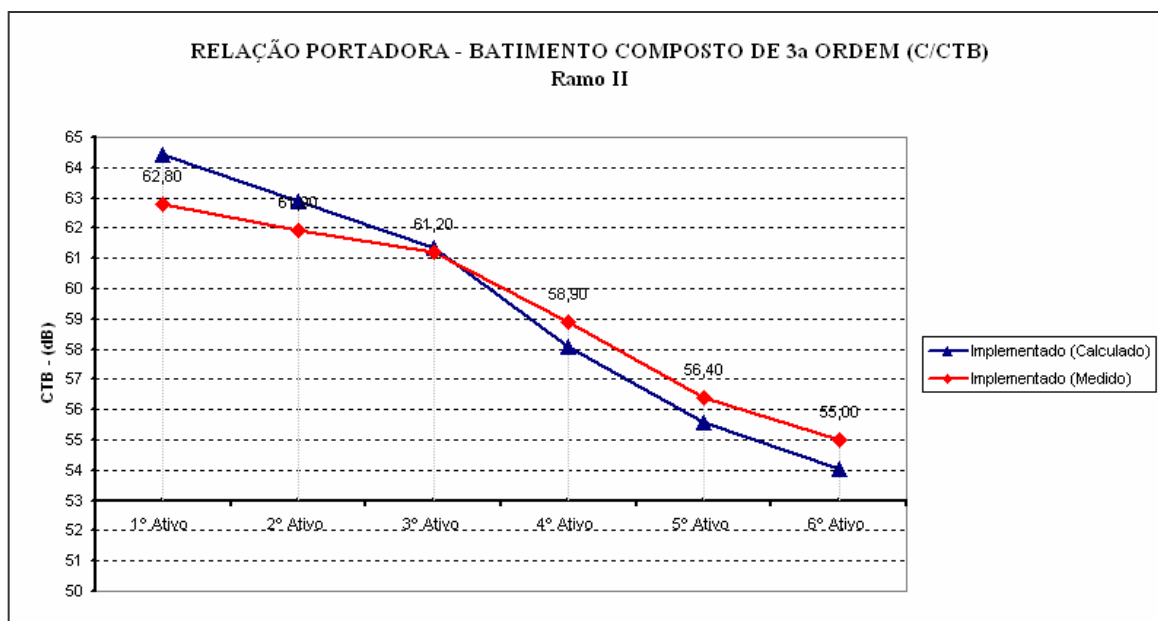
Para o valor medido da relação portadora-batimento composto de terceira ordem foi atribuído o valor da portadora do canal 37, em 301,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.



**FIGURA 48 – Ramo II: CTB – Níveis Projetado, Existente e Medido**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 48 que os níveis dos sinais projetados estabelecem uma relação portadora-batimento composto de terceira ordem acima do valor mínimo estabelecido em norma, de 53dB, sendo que no final da cascata de amplificadores (6º Ativo) esse valor correspondeu a 53,33dB. Porém, calculando com os níveis de sinais existentes em campo, essa relação diminuiu para 50,37dB, ou seja, ficando abaixo do mínimo estabelecido em norma. O valor medido de 52,20dB, apenas comprovou a degradação da linha de transmissão.

A FIGURA 49 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-batimento composto de terceira ordem do Ramo II para os níveis implementados.



**FIGURA 49 – Ramo II: CTB – Níveis Implementados**

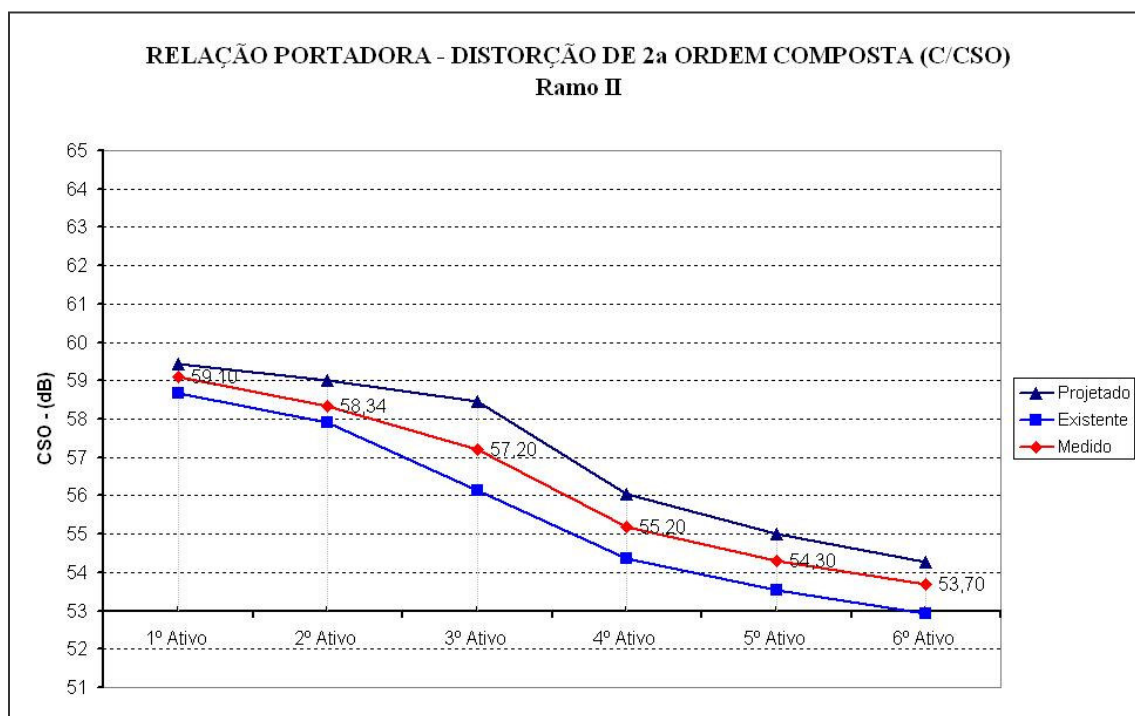
A FIGURA 49 apresenta o comparativo dos níveis implementados conforme a TABELA 17 e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-batimento composto de terceira ordem foi atribuído o valor da portadora do canal 37, em 301,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.

Observa-se através do gráfico da FIGURA 49 um aumento significativo na relação portadora-batimento composto de terceira ordem, sendo que seu valor implementado medido no final da cascata (6º Ativo), de 55dB, ficou 2,8dB acima do valor medido no gráfico da FIGURA 48 e 2dB acima do estabelecido em norma, de 53dB.

O valor medido no primeiro amplificador estabeleceu uma relação inferior ao projetado, 1,64dB abaixo, isso se deve ao fato da relação portadora-batimento composto de terceira ordem projetada nesse ponto ser bastante elevada, 64,44dB, provocando assim, uma margem de erro de leitura de quase 2dB.

A FIGURA 50 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-distorção de segunda ordem composta do Ramo II, em que apresenta o comparativo dos níveis projetados, níveis existentes e os níveis medidos. Para o valor medido da relação

portadora-distorção de segunda ordem composta foi atribuído o valor da portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Existentes” no APÊNDICE II.



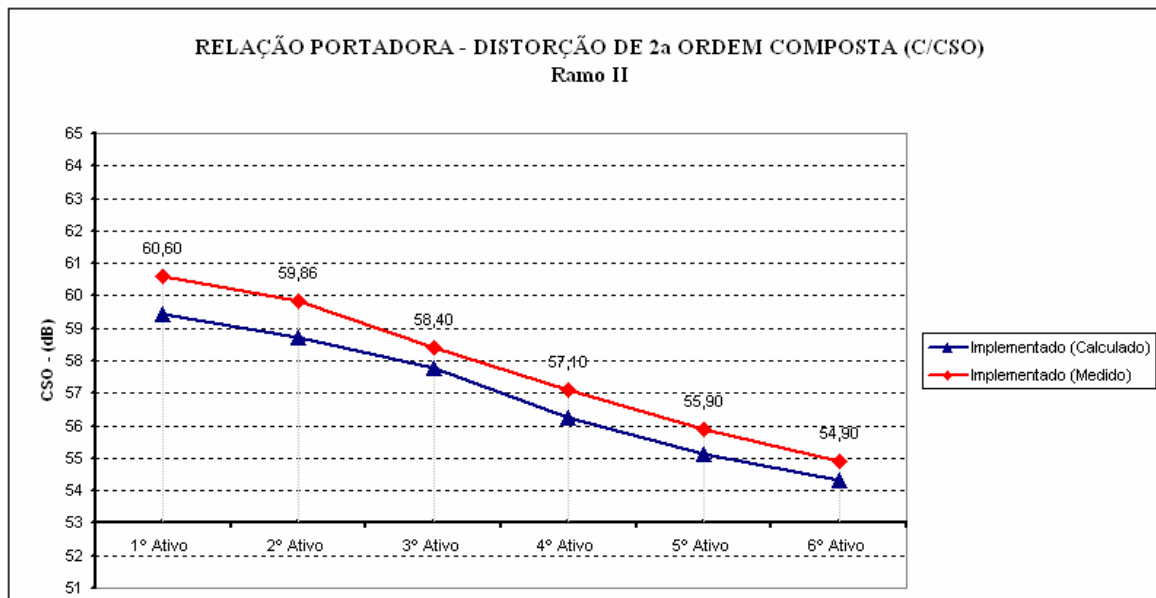
**FIGURA 50 – Ramo II: CSO – Projetado, Existente e Medido**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 50, que os níveis dos sinais projetados estabelecem uma relação portadora-distorção de segunda ordem composta acima do valor mínimo estabelecido em norma, de 53dB, sendo que ao final da cascata de amplificadores (6º Ativo), esse valor correspondeu a 54,28dB.

Porém, calculando com os níveis dos sinais existentes em campo, essa relação diminuiu para 52,93dB no final da cascata, ou seja, ficando abaixo do valor mínimo estabelecido em norma. O valor medido nesse ponto foi de 53,5dB, comprovando a degradação da linha de transmissão em relação aos valores inicialmente projetados.

A FIGURA 51 mostra o gráfico dos níveis da relação portadora-distorção de segunda ordem composta do Ramo II, em que apresenta o comparativo dos níveis implementados, conforme a TABELA 17 e os níveis medidos. Para o valor medido da relação portadora-distorção de segunda ordem composta foi atribuído o valor da

portadora do canal 57, em 421,25MHz, sendo que todos os valores obtidos estão referenciados como “Ramo II–Níveis de Sinais Implementados” no APÊNDICE II.



**FIGURA 51 – Ramo II: CSO – Níveis Implementados**

Observa-se através do gráfico da FIGURA 51 um incremento significativo do nível da relação portadora-distorção de segunda ordem composta, sendo que seu valor implementado medido no final da cascata amplificadores do Ramo II (6º Ativo), quando comparado com o valor medido da FIGURA 50 no mesmo ponto, ficou 1,2dB acima, ou seja, 1,9dB acima do estabelecido em norma, de 53dB.

#### 4.3.3.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CANAIS DIGITAIS

Para as medições dos parâmetros técnicos de qualidade dos canais digitais no Ramo II foram adotados os mesmos procedimentos no Ramo I.

Os canais 8, 12, 71 e 78 possuem modulação 256-*QAM*, os quais foram disponibilizados para o transporte do serviço de televisão digital. O canal 29 possui modulação 64-*QAM*, o qual foi disponibilizado para o transporte do serviço de *cable modem*.

A TABELA 20 mostra as medições realizadas nos canais digitais do Ramo II, sendo que os valores obtidos representam a condição da rede existente antes de ser aplicada a metodologia proposta em campo.

Através da TABELA 20 observa-se que a taxa de erro de bit ao longo da cascata de amplificadores, do 1º ao 6º Ativo, para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-QAM, atingiram valores de erros de bit Pré-FEC entre  $1.10^{-8}$  e  $4.10^{-7}$ , tendo o canal digital 71 a pior taxa de erro de bit no quarto ativo da cascata de amplificadores, com o valor de  $4.10^{-7}$ .

O canal digital 29, com modulação em 64-QAM, não sofreu degradação, mantendo a taxa de erro de bit Pré-FEC em  $1.10^{-9}$ , o que significa um excelente desempenho.

**TABELA 20 – Medições dos Canais Digitais do Ramo II -Existente**

MEDIÇÕES RAMO II									
	Níveis de Sinais Existentes (med)	Cascata	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo	
Canal 08 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	3,0E-08	7,0E-08	6,0E-08	4,0E-08	8,0E-08	3,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	38,0	37,0	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,5	28,5	29,0	29,0	
Canal 12 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-08	8,0E-08	4,0E-08	2,5E-07	1,5E-07	1,5E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,5	37,5	36,5	37,0	37,0	
	Eb/No	dB	29,0	29,0	29,0	28,0	28,5	28,5	
Canal 29 64-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	35,0	35,0	34,5	33,0	34,0	34,0	
	Eb/No	dB	28,0	28,0	27,5	26,0	27,0	27,0	
Canal 71 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	2,0E-07	2,0E-07	1,0E-07	4,0E-07	2,0E-07	2,5E-07	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,0	37,0	37,5	36,0	37,0	37,0	
	Eb/No	dB	28,5	28,5	29,0	27,5	28,5	28,5	
Canal 78 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	4,0E-08	1,0E-07	8,0E-08	7,0E-08	6,0E-08	7,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,5	37,0	37,0	37,0	38,0	
	Eb/No	dB	29,0	29,0	28,5	28,5	28,5	29,5	

Através da TABELA 20 observa-se que a relação do erro de modulação no final da cascata de amplificadores (6º Ativo), para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram uma relação na ordem de 37dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 28,5dB, o que significa um alto desempenho, quando comparados com aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1.

O canal digital 29, com modulação 64-*QAM*, obteve um valor na relação do erro de modulação de 34dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 27dB, no final da cascata (6º Ativo), o que significa também um alto desempenho quando comparado aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1, sendo que no quarto ativo da cascata de amplificadores (4º Ativo) a relação piorou em 1dB.

A TABELA 21 mostra as medições realizadas nos canais digitais do Ramo II, sendo que os valores obtidos representam a condição da rede existente após ser aplicada a metodologia proposta em campo.

**TABELA 21– Medições dos Canais Digitais do Ramo II - Implementado**

MEDIÇÕES RAMO II									
+ Níveis de Sinais Implementados (med)		Cascata	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo	
Canal 08 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	7,0E-09	4,0E-09	1,0E-08	6,0E-09	1,0E-08	1,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	
Canal 12 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-08	1,0E-08	3,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	6,0E-09	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	38,0	37,5	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,5	29,0	29,0	29,0	
Canal 29 64-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	35,0	35,0	34,5	34,5	34,0	34,0	
	Eb/No	dB	28,0	28,0	27,5	27,5	27,0	27,0	
Canal 71 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	6,0E-08	8,0E-08	5,0E-08	9,0E-08	8,0E-08	9,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	37,5	37,5	37,5	37,0	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,0	29,0	29,0	28,5	29,0	29,0	
Canal 78 256-QAM	Taxa de Erro de Bit - BER (pré-FEC)	bit	2,0E-08	5,0E-08	2,0E-08	2,0E-08	5,0E-08	5,0E-08	
	Taxa de Erro de Bit - BER (pós-FEC)	bit	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	
	Taxa do Erro de Modulação - MER (SNR)	dB	38,0	38,0	37,5	37,5	37,5	37,5	
	Eb/No	dB	29,5	29,5	29,0	29,0	29,0	29,0	

Através da TABELA 21 observa-se que a taxa de erro de bit ao longo da cascata de amplificadores, do 1º ao 6º Ativo, para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram valores de erros de bit Pré-*FEC* entre  $4.10^{-9}$  e  $9.10^{-8}$ , o que representa uma melhora significativa quando comparado aos valores da TABELA 20.

O canal digital 29, com modulação em 64-*QAM* manteve a taxa de erro de bit Pré-*FEC* em  $1.10^{-9}$ , o que significa também um excelente desempenho.

Através da TABELA 21 observa-se que a relação do erro de modulação no final da cascata de amplificadores (6º Ativo), para todos os canais digitais, 8, 12, 71 e 78 com modulação 256-*QAM*, atingiram uma relação acima de 37,5dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 29dB, o que significa um alto desempenho, quando comparados com aos valores propostos na TABELA 14 do item 3.3.7.1.

O canal digital 29, com modulação 64-*QAM*, permaneceu com um valor na relação do erro de modulação de 34dB, que convertido para  $E_b/N_0$  resulta em 27dB, no final da cascata (6º Ativo), o que significa que não alterou seu desempenho em relação ao valor antes da aplicação da metodologia, sendo que no quarto ativo da cascata de amplificadores (4º Ativo) a relação melhorou em 1,5dB.

#### 4.4 CONCLUSÃO

O estudo de caso do Ramo I mostrou que foi possível melhorar os parâmetros técnicos de qualidade dos canais analógicos da rede *HFC* existente, no final da cascata de amplificadores, representado pelo 4º Ativo, em 3,4dB para a relação portadora-batimento composto de terceira ordem, e 3,1dB para a relação portadora-distorção de segunda ordem composta.

Dessa forma, houve a degradação do nível da relação portadora-ruído em 0,65dB no final da cascata, sendo que ficou com um valor medido de 49,8dB, o que significa muito acima do parâmetro mínimo estabelecido em norma, de 45dB.



O estudo de caso do Ramo I mostrou que foi possível melhorar os parâmetros técnicos de qualidade dos canais digitais da rede *HFC* existente, ao longo da cascata de amplificadores, melhorando as taxas de erro de bits entre  $5.10^{-7}$  e  $1.10^{-8}$  para os valores entre  $1.10^{-8}$  e  $9.10^{-9}$ . A relação do erro de modulação melhorou em 0,5dB, passando o pior caso de 37dB para 37,5dB. Isso para os canais digitais com modulação 256-*QAM*.

O canal digital com modulação 64-*QAM* manteve a taxa de erro de bits em  $1.10^{-9}$  e relação do erro de modulação entre 34 e 35dB, antes e depois da metodologia proposta aplicada.

O estudo de caso do Ramo II também mostrou que foi possível melhorar os parâmetros técnicos de qualidade dos canais analógicos da rede *HFC* existente, no final da cascata de amplificadores, representado pelo 6º Ativo, em 2,8dB para a relação portadora-batimento composto de terceira ordem, e 1,2dB para a relação portadora-distorção de segunda ordem composta.

Dessa forma, houve a degradação do nível da relação portadora-ruído em 0,15dB no final da cascata, sendo que ficou com um valor medido de 49,5dB, o que significa muito acima do parâmetro mínimo estabelecido em norma, de 45dB.

O estudo de caso do Ramo II mostrou que foi possível melhorar os parâmetros técnicos de qualidade dos canais digitais da rede *HFC* existente, ao longo da cascata de amplificadores, melhorando as taxas de erro de bits entre  $4.10^{-7}$  e  $1.10^{-8}$  para os valores entre  $9.10^{-8}$  e  $4.10^{-9}$ . A relação do erro de modulação melhorou em 1dB, passando o pior caso de 36dB para 37dB. Isso para os canais digitais com modulação 256-*QAM*.

O canal digital com modulação 64-*QAM* manteve a taxa de erro de bits em  $1.10^{-9}$  e melhorou relação do erro de modulação do pior caso de 33dB, antes da metodologia proposta ser aplicada, para 34dB, depois da metodologia ser aplicada.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

---

*Este capítulo tem como principal objetivo apresentar as conclusões finais sobre os aspectos mais significativos do desenvolvimento deste trabalho.*

Os resultados obtidos nos canais analógicos, através das medições, mostram-se compatíveis com os valores esperados através dos cálculos dos parâmetros técnicos de qualidade da rede *HFC*, tanto para os níveis de sinais existentes na rede, antes da aplicação da metodologia proposta, como para os níveis de sinais implementados, após a aplicação da metodologia proposta.

É importante também observar que, apesar de todos os trabalhos realizados em busca da melhoria contínua para extrair o melhor desempenho da rede *HFC* existente, que culminou na evidência de melhores resultados, a prática nos mostrou a ocorrência de fatores prejudiciais. Destacam-se, a vulnerabilidade quanto aos aspectos de ligações clandestinas e também, ligações completamente adulteradas na parte interna das residências, provocando, desta forma, em diversos momentos, a interrupção dos serviços prestados.

A partir dos estudos de casos, foi possível verificar na prática todas as imperfeições causadas pelos diversos fatores que influenciam na degradação dos sinais transportados pela rede *HFC*. E desta forma, foi possível apresentar e implementar as soluções através da metodologia proposta.

A metodologia desenvolvida nesse trabalho possibilitou a melhoria na transmissão dos canais analógicos de uma rede *HFC* existente, ou seja, melhorou o desempenho dos parâmetros técnicos de qualidade de forma que também foi possível implementar a transmissão dos canais digitais.

A implementação da transmissão dos canais digitais junto com a transmissão dos canais analógicos na mesma infra-estrutura existente é a principal contribuição desse trabalho.

## PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como propostas futuras para a continuidade deste trabalho são feitas as seguintes sugestões:

- Desenvolvimento de um software de simulação do canal de comunicação de dados para uma rede de acesso baseada na tecnologia *HFC*.
- Estudo para implantação de parâmetros de qualidade na norma brasileira dos serviços de televisão digital e de acesso à Internet em banda larga através da infra-estrutura de rede *HFC*.
- Desenvolvimento de projeto e dimensionamento para infra-estrutura da rede *HFC* para aplicações de Telefonia IP.
- Implementação do sistema de modulação *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) na banda de descida e retorno.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## *Referências Utilizadas nos Capítulos*

### CAPÍTULO 1

- [1] RIDLEY, John. et al. **Engenharia de Redes de CATV**. Apostila elaborada pela GENERAL INSTRUMENT. 1995. p.120.
- [2] ELWOOD-SMITH, Michael. **Does HFC have a viable future**. In: IEEE Colloquium, p. 8/1-8/8. out, 1998.
- [3] CICIORA, Walter. FARMER, James. LARGE, David. **Modern Cable Television Technology – Vídeo, Voice, and Data Communication**. Morgan Kauffman Series in Networking. San Francisco. 1999. p.873.
- [4] COLBY, Lee. **Modulation Error Ratio Specifications for QPSK and QAM Transmitters**. A White Paper Hewlett – Packars Corporation. Interactive Broadband Products. Cupertino. CA. 1996.
- [5] CHAPMAN, John T. **Multimedia Traffic Engineering for HFC Networks**. A White Paper on Data, Voice, and Video over IP. Cisco Systems.Inc San Jose. CA. 1999. p.75.
- [6] TZEREFOS, Polychronis. **On the Performance and Scalability of Digital Upstream DOCSIS 1.0 Conformant CATV Channels**. Sheffield, Inglaterra 1999. Tese (Doutorado na Área de Telecomunicações) - Department of Computer Science – University of Sheffield.
- [7] OSTERGAARD, Rolf V. **Cable Modem Tutorial**. 1998 – 2002. Disponível em: <<http://www.cable-modems.org/tutorial/index.htm>> Acessado em: 13 set. 2004.
- [8] CABLE DATACOM NEWS. **Overview of Cable Modem Technology and Services**. 1996 – 1999. Disponível em: <<http://www.cabledatcomnews.com/cmhc/cmhc1.html>> Acessado em: 20 out. 2004.

[9] FELLOWS, David. JONES, Doug. DOCSIS Cable Modem Technology. **IEEE Communication Magazine**. vol. 39. p. 202-209, 2001.

[10] CABLELABS. **DOCSIS Radio Frequency Interface Specification – SP-RFI-I05-991105**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos, 1999. Disponível em <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-RFIv1.1-I09-020830.pdf>>. Acesso em: 02 out 2004.

[11] CABLELABS. **DOCSIS Operation Support System Interface Specification – SPOSSIv1.1-I05-020301**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos. Disponível em :<<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-OSSIv1.1-I0620830.pdf>>. Acesso em: 12 out 2004.

[12] CABLELABS. **DOCSIS Baseline Privacy Interface Plus – SPBPI+-I07-010829**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-OSSIv1.1-I0620830.pdf>>. Acesso em: 12 out 2004.

[13] ETSI. **DVB Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Cable Systems – EN 300 429–v1.2.1 (1998-04)**. European Telecommunications Standards Institute. Valbonne, França. Disponível em: <<http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>>. Acesso em: 26 nov 2004.

[14] ITUT. **Digital Multi – Programme Systems for television, sound and data services for Cable Systems – ITUT Recommendation J.83**. Telecommunication Standardization Sector of ITU. 1997. p. 61.

## **CAPÍTULO 2**

[1] ANATEL. **Serviço de TV a Cabo - Norma Nº 13/96 –Rev/97**. Agência Nacional de Telecomunicações. Leis, Decretos e Regulamentações. 1997. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/servicos/tvacabo/tvacabo.asp>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[2] OVADIA, Shlomo. **Broadband Cable TV Access Networks – From Technologies to Applications**. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River. New Jersey. 2001. 446 p.

- [3] RASKIN, Donald. STONEBACK, Dean. **Broadband Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable TV**. General Instrument. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River. New Jersey. 1998. 297 p.
- [4] KATZNELSON, Ron D. **Statistical Properties of Composite Distortions in HFC Systems and Their Effects on Digital Channels**. Broadband Innovations, Inc. San Diego, CA. 2002.
- [5] DUKE, Dwight. **The Hybrid Fiber / Coax Reverse Path: A Proven Gateway to New Services**. Scientific - Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. p. 25-47, 1997.
- [6] SCIENTIFIC-ATLANTA. **The Broadband Data Book – Transmission Networks Systems**. Scientific-Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. 2001. p. 115.
- [7] BLONDER TONGUE. **Broadband Reference Guide 2002**. Blonder Tongue Laboratories, Inc. Old Bridge, NJ. 2001. p. 124.
- [8] CABLELABS. **DOCSIS Radio Frequency Interface Specification – SP-RFI-I07-010829**. Cable Television Laboratories. Louisville, Estados Unidos, 2001. Disponível em <<http://www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-RFIv1.1-I07-010829.pdf>>. Acesso em: 02 dez 2004.
- [9] CICIORA, Walter. FARMER, James. LARGE, David. **Modern Cable Television Technology – Vídeo, Voice, and Data Communication**. Morgan Kauffman. San Francisco, 1999. p. 873.
- [10] RIBEIRO, José A. Justino. **Comunicações Ópticas**. Érica. São Paulo. 2003. p. 227-334.
- [11] CEFET-PR. **Comunicações Ópticas**. Apostila do Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Departamento de Engenharia Elétrica. Curitiba. 2000.
- [12] SCTE. **SCTE - Guide to Distortion & Derating**. Society of Cable Telecommunications Engineers Standards. Estados Unidos, 2005. Disponível em: <<http://www.scte.org.uk/members/technical/distort.html#deratctb>>. Acesso em: 26 jun 2005.

[13] FCC. **Electronic Code of Federal Regulations. Part 76 – Multichannel Video and Cable Television Service** . Federal Communications Commission. Estados Unidos, 2004. Disponível em: <<http://www.fcc.gov/mb/engineering/part76.pdf>>. Acesso em: 26 jun 2005.

[14] NCTA. **Recommended Practices for Measurements on Cable Television Systems – Supplement on Upstream Transport Issues** . National Cable Television Association. Science & Technology Department. Washington DC, Estados Unidos.1997. p. 75.

[15] SHERMAN, Matthew. **Comments on MER Definition, Test Procedure, and Requirements for QAM Constellations Using HP 89441A**. Submission #802.14a/99-023 to IEEE 802.14a Hi-PHY. AT&T Labs, Florham Park, NJ.2002. 6 p.

### **CAPÍTULO 3**

[1]ACTERNA. **Acterna StealthWare**. Data Analysis Software. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/StealthWare/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[2] ACTERNA. **Acterna SDA-5000 Stealth Digital Analyzer**. Stealth Digital Analyzer and Sweep System. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/SDA-5000/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[3] ACTERNA. **Acterna Path Trak Return Path Monitoring System**. Path Trak Software. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/PathTrak/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[4] ACTERNA. **Acterna CLI-950, CLI-1450 and CLI-1750 Cable Leakage Meters**. Combination Leakage and Signal Level Meter. Disponível em: <<http://www.acterna.com/global/products/descriptions/CLI-1450/index.html>> Acessado em: 20 jan. 2005.

[5] BLONDER TONGUE. **Broadband Referece Guide 2002**. Blonder Tongue Laboratories, Inc. Old Bridge, NJ. 2001. p. 124.

[6] SCIENTIFIC-ATLANTA. **The Broadband Data Book – Transmission Networks Systems**. Scientific-Atlanta, Inc. Lawrenceville, GA. 2001. p. 115.

Artigo Apresentado a congresso durante o desenvolvimento da dissertação

[1] MORAIS, V. M.; FILHO, H.S.; GOUVEIA, F. C. **A Proposal for IP Telephony in Brazilian CATV Scenario.** 10<sup>th</sup> International Conference On Telecommunications. Papeete, Tahiti. Ict 2003.



# **APÊNDICE I**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sinais Projetados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR	AMPLIFICADOR
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta		
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	System II - BT Manual PD	System II - LGD Manual PD	Line Extender II Manual PD		
Tecnologia do Equipamento		1310 nm						
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550		
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5		
Ganho Mínimo	dB		36	28,1	32,5	32,1		
Controle de Ganho (variação)	dB	10	NA	+4	+4	+3 / -5		
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB	0	Plug-In EQ	4	4	+3 / -5		
Perda de Retorno ( Reflexão) (min)	dB	NA	14	16	16	16		
DISTORÇÕES (@ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0		
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0		
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78		
Ganho Operacional	dB		35,0	28,1	32,5	32,1		
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	0,0	0,0
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	62,6	64,2	62,0		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	65,3	67,5	68,6		
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	63,7	65,9	64,5		
Figura de Ruído	dB		6,5	7,5	7,3	9,6		
Perda de Inserção do Equalizador*	dB		0,0	0,0	0,0	0,0		
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	69,6	65,4	63,5	59,2	59,2
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0		
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,61	0,49	0,4		
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0		
* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N								
** Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mW)								

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR	AMPLIFICADOR
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta		
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	System II - BT Manual PD	System II - LGD Manual PD	Line Extender II Manual PD		
Tecnologia do Equipamento		1310 nm						
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema	dB	78	78	78	78	78		
Ganho Operacional	dB	0	19	11,5	26,5	27		
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	35	35	46	43		
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	26	26	37	34		
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	9	9	9	9	0	0
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16	23,5	19,5	16	0	0
Cascata		1	1	1	1	1		
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	68,66	75,16	71,36	65,56		
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,00	88,60	84,60	64,20	68,00		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	87,00	87,30	67,50	74,60		
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,00	75,66	74,70	65,90	67,50		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00		
Multiplicador p/ CSO		15						
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,73						
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	55,53						
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	58,01						
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	55,77						
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,29						



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sinais Projetados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Morais  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo .....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade .....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 -- PAGINA 3

CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO									
Boltzmann's const: k	J/K	1,38E-23	EQUIVALENTE TEMPERATURA 20 °C						
Temperatura, T	K	293,15							
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00							
Impedância Característica, R	Ohms	75,00							
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20							
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16							
APLICAÇÃO									
Fabricante	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Modelo		Texscan Flamethrower FM3P	Texscan Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual PD	Scientific Atlanta System II - LGD Manual PD	Scientific Atlanta Line Extender II Manual PD			
Tecnologia do Equipamento		1310 nm							
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Figura de Ruído: NF	dB	0,00	6,50	7,50	7,30	9,60	0,00	0,00	0,00
Perda de Injeção EQ: L	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ruído Térmico: NT	dB	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16
Nível de Saída: O	dBmV	16,00	35,00	35,00	46,00	43,00	0,00	0,00	0,00
Ganho: G	dB	0,00	19,00	11,50	26,50	27,00	0,00	0,00	0,00
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV	0,00	16,00	23,50	19,50	16,00	0,00	0,00	0,00
C/N = NT+(NF+L)	dB	51,00	68,66	75,16	71,36	65,56	59,16	59,16	59,16
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Fabricante CTB: CTB0	dB	65,00	71,00	62,60	64,20	62,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante XM: XM0	dB	65,00	70,00	65,30	67,50	68,60	0,00	0,00	0,00
Fabricante CSO: CSO0	dB	60,00	67,00	63,70	65,90	64,50	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais (máx): CR		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais no Sistema: CA		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV	16,00	43,00	46,00	46,00	46,00	0,00	0,00	0,00
Nível de Saída Atual: OA	dBmV	16,00	35,00	35,00	46,00	43,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Carregamento: LC	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Nível de Saída: OC	dB	0,00	-8,00	-11,00	0,00	-3,00	0,00	0,00	0,00
= (OA-OR)	dB	0,00	7,00	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB	0,00	9,00	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
= (TO-TR) ou (TR-TO)	dB	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CTB: CTB1	dB	65,00	88,60	84,60	64,20	68,00	0,00	0,00	0,00
= CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC	dB	65,00	87,00	87,30	67,50	74,60	0,00	0,00	0,00
Novo Valor XM: XM1	dB	65,00	87,00	87,30	67,50	74,60	0,00	0,00	0,00
= XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC	dB	60,00	75,66	74,70	65,90	67,50	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CSO: CSO1	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00
= CSO0-OC+LC+0,33*TC	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante HUM: HUM0	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 -- PAGINA 4

CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	68,66	75,16	71,36	65,56	59,16	59,16	59,16
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	88,60	84,60	64,20	68,00	0,00	0,00	0,00
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	87,00	87,30	67,50	74,60	0,00	0,00	0,00
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	75,66	74,70	65,90	67,50	0,00	0,00	0,00
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(CN/10)		7,94E-06	1,36E-07	3,05E-08	7,32E-08	2,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CTBI: 10*(CTB/20)		5,62E-04	3,72E-05	5,89E-05	6,17E-04	3,98E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
XMI: 10*(XM/20)		5,62E-04	4,47E-05	4,32E-05	4,22E-04	1,86E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CSOI: 10*(CSO/15)		1,00E-04	9,04E-06	1,05E-05	4,04E-05	3,16E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HUMI: 10*(HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE				PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO ANATEL		PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO FCC	
CNT=10*log(SUM(CNI))	dB	50,73	dB	45,00	dB	43,00	
CTBI=20*log(SUM(CTBI))	dB	55,53	dB	53,00	dB	51,00	
XMI=20*log(SUM(XMI))	dB	58,01	dB	53,00	dB	51,00	
CSOI=15*log(SUM(CSOI))	dB	55,77	dB	53,00	dB	51,00	
HMT=20*log(SUM(HUMI))	dB	50,61	dB		dB		
HUM%=[10*(HMT/20)]*100%	%	0,29	%	3,00	%	3,00	

OBSERVAÇÃO: Amplificadores que não são utilizados (ex. cascata de 0) não serão combinados.  
Na programação, são fixados os valores utilizados no cálculo intermediário para zero.

**Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC**

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
 DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sinais Existentes  
 AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
 SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
 Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
 Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

**CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1**

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR	AMPLIFICADOR
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	-----	-----
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - BT	System II - UBT	Line Extender II	-----	-----
Tecnologia do Equipamento		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Thermal*	Manual	-----	-----
		1310 nm	PD	PD	PD	PD		
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550		
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5		
Ganho Mínimo	dB		36	28,1	54,0	32,1		
Controle de Ganho (variação)	dB	10	NA	+4	+4	+3 / -5		
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB	0	Plug-In EQ	4	4	+3 / -5		
Perda de Retorno (Reflexão) (min)	dB		14	16	16	16		
DISTORÇÕES @ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0		
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0		
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78		
Ganho Operacional	dB		35,0	28,1	38,7	32,1		
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	0,0	0,0
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	62,6	61,0	62,0		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	65,3	59,0	68,6		
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	63,7	59,0	64,5		
Figura de Ruído	dB		6,5	7,5	8,4	9,6		
Perda de Inserção do Equalizador*	dB		0,0	0,0	0,0	0,0		
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	69,6	58,1	63,5	59,2	59,2
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0		
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,61	0,61	0,4		
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0		

\* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N  
 \*\* Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mW)

**MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2**

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR	AMPLIFICADOR
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	-----	-----
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - BT	System II - UBT	Line Extender II	-----	-----
Tecnologia do Equipamento		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Thermal*	Manual	-----	-----
		1310 nm	PD	PD	PD	PD		
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema	dB	78	78	78	78	78		
Ganho Operacional	dB	0	24,1	19,26	30,54	27,58		
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	40,5	37,7	46	46,2		
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	32,9	30,2	39	47,8		
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	7,6	7,5	7	-1,6	0	0
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16,4	18,44	15,46	18,62	0	0
Cascata		1	1	1	1	1		
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	69,06	70,10	66,22	68,18		
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,00	76,48	78,00	59,40	70,08		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	75,30	81,15	58,00	73,50		
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,00	69,70	71,51	58,34	67,80		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00		
Multiplicador p/ CSO		15						
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,68						
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	53,06						
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	52,80						
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	52,87						
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,29						



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sínais Existentes  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo .....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade .....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 -- PAGINA 3

CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO									
Boltzmann's const: k	J/K	1,38E-23	EQUIVALENTE TEMPERATURA 20 °C						
Temperatura, T	K	293,15							
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00							
Impedância Característica, R	Ohms	75,00							
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20							
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16							
APLICAÇÃO									
Fabricante	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Modelo		Texscan Flamethrower FM3P	Texscan Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual PD	Scientific Atlanta System II - UBT Thermal* PD	Scientific Atlanta Line Extender II Manual PD			
Tecnologia do Equipamento		1310 nm							
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Figura de Ruído: NF	dB	0,00	6,50	7,50	8,40	9,60	0,00	0,00	0,00
Perda de Injeção EQ: L	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ruído Térmico: NT	dB	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16
Nível de Saída: O	dBmV	16,00	40,50	37,70	46,00	46,20	0,00	0,00	0,00
Ganho: G	dB	0,00	24,10	19,26	30,54	27,58	0,00	0,00	0,00
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV	0,00	16,40	18,44	15,46	18,62	0,00	0,00	0,00
C/N = NT+(NF+L)	dB	51,00	69,06	70,10	66,22	68,18	59,16	59,16	59,16
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Fabricante CTB: CTB0	dB	65,00	71,00	62,60	61,00	62,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante XM: XM0	dB	65,00	70,00	65,30	59,00	68,60	0,00	0,00	0,00
Fabricante CSO: CSO0	dB	60,00	67,00	63,70	59,00	64,50	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais (máx): CR		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais no Sistema: CA		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV	16,00	43,00	46,00	46,00	46,00	0,00	0,00	0,00
Nível de Saída Atual: OA	dBmV	16,00	40,50	37,70	46,00	46,20	0,00	0,00	0,00
Modificação do Carregamento: LC	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Nível de Saída: OC	dB	0,00	-2,50	-8,30	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
= (OA-OR)	dB	0,00	7,00	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB	0,00	7,60	7,50	7,00	-1,60	0,00	0,00	0,00
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB	0,00	0,00	-1,50	-2,00	10,60	0,00	0,00	0,00
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC	dB	0,00	0,60	-1,50	-2,00	10,60	0,00	0,00	0,00
= (TO-TR) ou (TR-TO)	dB	0,00	0,60	-1,50	-2,00	10,60	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CTB: CTB1	dB	65,00	76,48	78,00	59,40	70,08	0,00	0,00	0,00
= CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC	dB	65,00	76,48	78,00	59,40	70,08	0,00	0,00	0,00
Novo Valor XM: XM1	dB	65,00	75,30	81,15	58,00	73,50	0,00	0,00	0,00
= XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC	dB	65,00	75,30	81,15	58,00	73,50	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CSO: CSO1	dB	60,00	69,70	71,51	58,34	67,80	0,00	0,00	0,00
= CSO0-OC+LC+0,33*TC	dB	60,00	69,70	71,51	58,34	67,80	0,00	0,00	0,00
Fabricante HUM: HUM0	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 -- PAGINA 4

CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	69,06	70,10	66,22	68,18	59,16	59,16	59,16
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	76,48	78,00	59,40	70,08	0,00	0,00	0,00
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	75,30	81,15	58,00	73,50	0,00	0,00	0,00
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	69,70	71,51	58,34	67,80	0,00	0,00	0,00
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(-CN/10)		7,94E-06	1,24E-07	9,78E-08	2,39E-07	1,52E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CTBI: 10*(-CTB/20)		5,62E-04	1,50E-04	1,26E-04	1,07E-03	3,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
XMI: 10*(-XM/20)		5,62E-04	1,72E-04	8,76E-05	1,26E-03	2,11E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CSOI: 10*(-CSO/15)		1,00E-04	2,26E-05	1,71E-05	1,29E-04	3,02E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HUMI: 10*(-HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE									
CNT=10*log(SUM(CNI))	dB	50,68	dB	45,00	dB	43,00			
CTBI=20*log(SUM(CTBI))	dB	53,06	dB	51,00	dB	51,00			
XMT=20*log(SUM(XMI))	dB	52,80	dB	53,00	dB	51,00			
CSOI=15*log(SUM(CSOI))	dB	52,87	dB	53,00	dB	51,00			
HMT=20*log(SUM(HMI))	dB	50,61	dB		dB				
HUM%=(10*(-HMT/20))*100%	%	0,29	%	3,00	%	3,00			

OBSERVAÇÃO: Amplificadores que não são utilizados (ex. cascata de 0) não serão combinados.  
Na programação, são fixados os valores utilizados no cálculo intermediário para zero.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sinais Implementados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	-----	-----
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - BT	System II - LGD	Line Extender II	-----	-----
Tecnologia do Equipamento		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Manual	Manual	-----	-----
		1310 nm	PD	PD	PD	PD	-----	-----
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550	-----	-----
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	-----	-----
Ganho Mínimo	dB	-----	36	28,1	32,5	32,1	-----	-----
Controle de Ganho (variação)	dB	10	NA	±4	±4	±3 / -5	-----	-----
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB	0	Plug-In EQ	4	4	±3 / -5	-----	-----
Perda de Retorno ( Reflexão) (min)	dB	NA	14	16	16	16	-----	-----
DISTORÇÕES (@ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0	-----	-----
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0	-----	-----
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78	-----	-----
Ganho Operacional	dB	-----	35,0	28,1	32,5	32,1	-----	-----
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	0,0	0,0
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	62,6	64,2	62,0	-----	-----
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	65,3	67,5	68,6	-----	-----
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	63,7	65,9	64,5	-----	-----
Figura de Ruído	dB	-----	6,5	7,5	7,3	9,6	-----	-----
Perda de Inserção do Equalizador*	dB	-----	0,0	0,0	0,0	0,0	-----	-----
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	69,6	65,4	63,5	59,2	59,2
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0	-----	-----
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,61	0,49	0,4	-----	-----
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0	-----	-----
* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N ** Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mW)								

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	-----	-----
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - BT	System II - LGD	Line Extender II	-----	-----
Tecnologia do Equipamento		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Manual	Manual	-----	-----
		1310 nm	PD	PD	PD	PD	-----	-----
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema		78	78	78	78	78	-----	-----
Ganho Operacional	dB	0	19	27	29	32	-----	-----
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	35	38	44	44	-----	-----
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	26	31	37	37	-----	-----
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	9	7	7	7	0	0
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16	11	15	12	0	0
Cascata		1	1	1	1	1	-----	-----
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	68,66	62,66	66,86	61,56	-----	-----
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	65,00	88,60	77,00	69,80	67,60	-----	-----
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	87,00	80,30	72,50	73,60	-----	-----
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	60,00	75,66	71,04	68,56	67,16	-----	-----
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	-----	-----
Multiplicador p/ CSO		15	-----	-----	-----	-----	-----	-----
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,21	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Batimento de 3º Ordem (CTB)	dB	56,59	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	58,79	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Batimento de 2º Ordem (CSO)	dB	55,90	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,29	-----	-----	-----	-----	-----	-----



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo I - Níveis de Sinais Implementados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo .....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade .....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 -- PAGINA 3

CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO									
Boltzmann's const: k	J/K	1,38E-23	EQUIVALENTE TEMPERATURA 20 °C						
Temperatura, T	K	293,15							
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00							
Impedância Característica, R	Ohms	75,00							
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20							
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16							
APLICAÇÃO									
Fabricante	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Modelo		Texscan Flamethrower FM3P	Texscan Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual PD	Scientific Atlanta System II - LGD Manual PD	Scientific Atlanta Line Extender II Manual PD			
Tecnologia do Equipamento		1310 nm							
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Figura de Ruído: NF	dB	0,00	6,50	7,50	7,30	9,60	0,00	0,00	0,00
Perda de Injeção EQ: L	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ruído Térmico: NT	dB	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16
Nível de Saída: O	dBmV	16,00	35,00	38,00	44,00	44,00	0,00	0,00	0,00
Ganho: G	dB	0,00	19,00	27,00	29,00	32,00	0,00	0,00	0,00
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV	0,00	16,00	11,00	15,00	12,00	0,00	0,00	0,00
C/N = NT+(NF+L)	dB	51,00	68,66	62,66	66,86	61,56	59,16	59,16	59,16
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Fabricante CTB: CTB0	dB	65,00	71,00	62,60	64,20	62,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante XM: XM0	dB	65,00	70,00	65,30	67,50	68,60	0,00	0,00	0,00
Fabricante CSO: CSO0	dB	60,00	67,00	63,70	65,90	64,50	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais (máx): CR		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Carregamento de Canais no Sistema: CA		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV	16,00	43,00	46,00	46,00	46,00	0,00	0,00	0,00
Nível de Saída Atual: OA	dBmV	16,00	35,00	39,00	44,00	44,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Carregamento: LC	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Nível de Saída: OC	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
= (OA-OR)	dB	0,00	-8,00	-8,00	-2,00	-2,00	0,00	0,00	0,00
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB	0,00	7,00	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB	0,00	9,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,00
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC	dB	0,00	2,00	-2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
= (TO-TR) ou (TR-TO)	dB	0,00	2,00	-2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CTB: CTB1	dB	65,00	88,60	77,00	69,80	67,60	0,00	0,00	0,00
= CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC	dB	65,00	88,60	77,00	69,80	67,60	0,00	0,00	0,00
Novo Valor XM: XM1	dB	65,00	87,00	80,30	72,50	73,60	0,00	0,00	0,00
= XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC	dB	65,00	87,00	80,30	72,50	73,60	0,00	0,00	0,00
Novo Valor CSO: CSO1	dB	60,00	75,66	71,04	68,56	67,16	0,00	0,00	0,00
= CSO0-OC+LC+0,33*TC	dB	60,00	75,66	71,04	68,56	67,16	0,00	0,00	0,00
Fabricante HUM: HUM0	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 -- PAGINA 4

CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	68,66	62,66	66,86	61,56	59,16	59,16	59,16
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	88,60	77,00	69,80	67,60	0,00	0,00	0,00
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	87,00	80,30	72,50	73,60	0,00	0,00	0,00
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	75,66	71,04	68,56	67,16	0,00	0,00	0,00
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(-CN/10)		7,94E-06	1,36E-07	5,42E-07	2,06E-07	6,99E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CTBI: 10*(-CTB/20)		5,62E-04	3,72E-05	1,41E-04	3,24E-04	4,17E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
XMI: 10*(-XM/20)		5,62E-04	4,47E-05	9,86E-05	2,37E-04	2,09E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CSOI: 10*(-CSO/15)		1,00E-04	9,04E-06	1,84E-05	2,69E-05	3,33E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HUMI: 10*(-HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

RESULTADO FINAL DOS PARÂMRTOS DE QUALIDADE				PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO ANATEL		PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO FCC	
CNT=10*log(SUM(CNI))	dB	50,21		dB	45,00	dB	43,00
CTBT=20*log(SUM(CTBT))	dB	56,59		dB	53,00	dB	51,00
XMT=20log(SUM(XMI))	dB	58,79		dB	53,00	dB	51,00
CSOT=15*log(SUM(CSOI))	dB	55,90		dB	53,00	dB	51,00
HMT=20*log(SUM(HMI))	dB	50,61				dB	
HUM%=10*(-HMT/20)*100%	%	0,29		%	3,00	%	3,00

OBSERVAÇÃO: Amplificadores que não são utilizados (ex. cascata de 0) não serão combinados.  
Na programação, são fixados os valores utilizados no cálculo intermediário para zero.





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Projetados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	Line Extender II	System II - LGD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550	550	550
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ganho Mínimo	dB		36	32,5	28,1	28,1	32,1	32,5
Controle de Ganho (variação)	dB	10	NA	+4	+4	+4	+3 / -5	+4
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB	0	Plug-In EQ	4	4	4	+3 / -5	4
Perda de Retorno ( Reflexão) (min)	dB	NA	14	16	16	16	16	16
DISTORÇÕES (@ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB		36,0	32,5	28,1	28,1	32,1	32,5
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	64,2	62,6	62,6	62,0	64,2
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	67,5	65,3	65,3	68,6	67,5
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	65,9	63,7	63,7	64,5	65,9
Figura de Ruído	dB		6,5	7,3	7,5	7,5	9,6	7,3
Perda de Inserção do Equalizador*	dB		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	65,4	69,6	69,6	63,5	65,4
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,49	0,61	0,61	0,4	0,49
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N								
** Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mW)								

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	Line Extender II	System II - LGD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema	dB	78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB	0	19	24,5	11,5	22,5	27	26,5
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	35	35	35	46	43	43
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	26	26	26	37	34	34
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	9	9	9	9	9	9
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16	10,5	23,5	23,5	16	16,5
Cascata		1	1	1	1	1	1	1
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	68,66	62,36	75,16	75,16	65,56	68,36
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,00	88,60	86,20	84,60	82,60	68,00	70,20
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	87,00	89,50	87,30	85,30	74,60	73,50
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,00	75,66	76,90	74,70	63,70	67,50	68,90
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Multiplicador p/ CSO		15						
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB		50,39					
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB		53,33					
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB		55,79					
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB		54,28					
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%		0,36					





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Projetados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 - PAGINA 3

CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO										
Boltzmann's const: k	J/K	1,38E-23	EQUIVALENTE							
Temperatura, T	K	293,15	TEMPERATURA							
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00	20		C					
Impedância Característica, R	Ohms	75,00								
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20								
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16								
APLICAÇÃO			Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan		Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower		Flamethrower -	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	System II - BT	System II - BT	System II - LGD
Tecnologia do Equipamento		FM3P		xFT-75-35-44-F	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
		1310 nm		PD	PD	PD	PD	PD	PD	PD
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS										
Figura de Ruído: NF	dB	0,00		6,50	7,30	7,50	7,50	9,60	7,30	
Perda de Injeção EQ: L	dB	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ruído Térmico: NT	dB	-59,16		-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	
Nível de Saída: O	dBmV	16,00		35,00	35,00	35,00	46,00	43,00	43,00	
Ganho: G	dB	0,00		19,00	24,50	11,50	22,50	27,00	26,50	
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV	0,00		16,00	10,50	23,50	23,50	16,00	16,50	
C/N = NT+(NF+L)	dB	51,00		68,66	62,36	75,16	75,16	65,56	68,36	
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS										
Fabricante CTB: CTB0	dB	65,00		71,00	64,20	62,60	62,60	62,00	64,20	
Fabricante XM: XM0	dB	65,00		70,00	67,50	65,30	65,30	68,60	67,50	
Fabricante CSO: CSO0	dB	60,00		67,00	65,90	63,70	63,70	64,50	65,90	
Carregamento de Canais (máx): CR		78,00		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	
Carregamento de Canais no Sistema: CA		78,00		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV	16,00		43,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	
Nível de Saída Atual: OA	dBmV	16,00		35,00	35,00	35,00	46,00	43,00	43,00	
Modificação do Carregamento: LC	dB	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
=20*log((CA-1)/(CR-1))										
Modificação do Nível de Saída: OC	dB	0,00		-8,00	-11,00	-11,00	0,00	-3,00	-3,00	
= (OA-OR)										
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB	0,00		7,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB	0,00		9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC	dB	0,00		2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
= (TO-TR) ou (TR-TO)										
Novo Valor CTB: CTB1	dB	65,00		88,60	86,20	84,60	62,60	68,00	70,20	
= CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC										
Novo Valor XM: XM1	dB	65,00		87,00	89,50	87,30	65,30	74,60	73,50	
= XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC										
Novo Valor CSO: CSO1	dB	60,00		75,66	76,90	74,70	63,70	67,50	68,90	
= CSO0-OC+LC+0,33*TC										
Fabricante HUM: HUM0	dB	60,00		60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 - PAGINA 4

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower	Flamethrower -	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	System II - BT	System II - BT	System II - LGD
Tecnologia		FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
		1310 nm	PD	PD	PD	PD	PD	PD	PD
CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	68,66	62,36	75,16	75,16	65,56	68,36	
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	88,60	86,20	84,60	62,60	68,00	70,20	
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	87,00	89,50	87,30	65,30	74,60	73,50	
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	75,66	76,90	74,70	63,70	67,50	68,90	
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(CN/10)		7,94E-06	1,36E-07	5,81E-07	3,05E-08	3,05E-08	2,78E-07	1,46E-07	
CTBI: 10*(CTB/20)		5,62E-04	3,72E-05	4,90E-05	5,89E-05	7,41E-04	3,98E-04	3,09E-04	
XMI: 10*(XM/20)		5,62E-04	4,47E-05	3,35E-05	4,32E-05	5,43E-04	1,86E-04	2,11E-04	
CSOI: 10*(CSO/15)		1,00E-04	9,04E-06	7,47E-06	1,05E-05	5,67E-05	3,16E-05	2,55E-05	
HUMI: 10*(HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	

RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE				PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO ANATEL		PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO FCC	
CNI=10*log(SUM(CNI))	dB	50,39		dB	45,00	dB	43,00
CTBI=20*log(SUM(CTBI))	dB	53,33		dB	53,00	dB	51,00
XMI=20*log(SUM(XMI))	dB	55,79		dB	53,00	dB	51,00
CSOI=15*log(SUM(CSOI))	dB	54,28		dB	53,00	dB	51,00
HMT=20*log(SUM(HMI))	dB	48,92		dB		dB	
HUM%=10*(HMT/20)*100%	%	0,36		%	3,00	%	3,00

OBSERVAÇÃO: Amplificadores que não são utilizados (ex. cascata de 0) não serão combinados.  
Na programação, são fixados os valores utilizados no cálculo intermediário para zero.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Existentes  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD Manual PD	System II - BT Manual PD	System II -LGD Manual* PD	Line Extender II Manual PD	System II - BT Manual* PD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	PD	PD	PD	PD	PD
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550	550	550
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ganho Mínimo	dB		36	32,5	28,1	32,5	32,1	28,1
Controle de Ganho (variação)	dB	10	NA	+4	+4	+4	+3 / -5	+4
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB	0	Plug-In EQ	4	4	4	+3 / -5	4
Perda de Retorno ( Reflexão) (min)	dB	NA	14	16	16	16	16	16
DISTORÇÕES (@ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB		36,0	32,5	28,1	32,5	32,1	28,1
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	64,2	62,6	64,2	62,0	62,6
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	67,5	65,3	67,5	68,6	65,3
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	65,9	63,7	65,9	64,5	63,7
Figura de Ruído	dB		6,5	7,3	7,5	7,3	9,6	7,5
Perda de Inserção do Equalizador*	dB		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	65,4	69,6	65,4	63,5	69,6
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,49	0,61	0,49	0,4	0,61
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N								
** Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mW)								

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD Manual PD	System II - BT Manual PD	System II -LGD Manual* PD	Line Extender II Manual PD	System II - BT Manual* PD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	PD	PD	PD	PD	PD
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema		78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB	0	24,1	30,43	25,4	33,61	29,46	23
Nível de Saída: Canal Alto (ch78)	dBmV	16	40,5	37,8	43,6	47,9	43,5	42,5
Canal Baixo (ch02)	dBmV	16	32,9	34,4	36,4	37,9	32,9	37,6
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	7,6	3,4	7,2	10	10,6	4,9
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16,4	7,37	18,2	14,29	14,04	19,5
Cascata		1	1	1	1	1	1	1
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	69,06	59,23	69,86	66,15	63,60	71,16
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,00	76,48	76,12	65,96	59,60	68,28	72,88
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	75,30	81,10	69,20	63,20	74,40	74,35
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,00	69,70	72,25	65,51	63,67	67,53	68,55
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Multiplicador p/ CSO		15						
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB		49,95					
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB		50,37					
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB		52,98					
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB		52,93					
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%		0,36					

**Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC**

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
 DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Existentes  
 AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
 SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
 Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
 Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 -- PAGINA 3									
CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO									
Boltzmann's const: k	J/ok	1,38E-23	EQUIVALENTE TEMPERATURA						
Temperatura, T	K	293,15			20°C				
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00							
Impedância Característica, R	Ohms	75,00							
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20							
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16							
APLICAÇÃO									
Fabricante	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	
Modelo		Texscan Flamethrower FM3P	Texscan Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	Scientific Atlanta System II - LGD Manual PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual PD	Scientific Atlanta System II -LGD Manual* PD	Scientific Atlanta Line Extender II Manual PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual* PD	
Tecnologia do Equipamento		1310 nm							
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Figura de Ruído: NF	dB	0,00	6,50	7,30	7,50	7,30	9,60	7,50	
Perda de Inseção EQ: L	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ruído Térmico: NT	dB	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	
Nível de Saída: O	dBmV	16,00	40,50	37,80	43,60	47,90	43,50	42,50	
Ganho: G	dB	0,00	24,10	30,43	25,40	33,61	29,46	23,00	
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV	0,00	16,40	7,37	18,20	14,29	14,04	19,50	
C/N = NT+I(NF+L)	dB	51,00	69,06	59,23	69,86	66,15	63,60	71,16	
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS									
Fabricante CTB: CTB0	dB	65,00	71,00	64,20	62,60	64,20	62,00	62,60	
Fabricante XM: XM0	dB	65,00	70,00	67,50	65,30	67,50	66,60	65,30	
Fabricante CSO: CSO0	dB	60,00	67,00	65,90	63,70	65,90	64,50	63,70	
Carregamento de Canais (máx): CR		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	
Carregamento de Canais no Sistema: CA		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV	16,00	43,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	
Nível de Saída Atual: OA	dBmV	16,00	40,50	37,80	43,60	47,90	43,50	42,50	
Modificação do Carregamento: LC = 20*log((CA-I)/(CR-I))	dB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Modificação do Nível de Saída: OC = (OA-OR)	dB	0,00	-2,50	-8,20	-2,40	1,90	-2,50	-3,50	
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB	0,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB	0,00	7,60	3,40	7,20	10,00	10,60	4,90	
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC = (TO-TR) ou (TR-TO)	dB	0,00	0,60	-5,60	-1,80	-1,00	1,60	4,10	
Novo Valor CTB: CTB1 = CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC	dB	65,00	76,48	76,12	65,96	59,60	68,28	72,88	
Novo Valor XM: XM1 = XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC	dB	65,00	75,30	81,10	69,20	63,20	74,40	74,35	
Novo Valor CSO: CSO1 = CSO0-OC+LC+0,33*TC	dB	60,00	69,70	72,25	65,51	63,67	67,53	68,55	
Fabricante HUM: HUM0	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	
CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 -- PAGINA 4									
APLICAÇÃO									
Fabricante	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	
Modelo		Texscan Flamethrower FM3P	Texscan Flamethrower - xFT-75-35-44-F PD	Scientific Atlanta System II - LGD Manual PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual PD	Scientific Atlanta System II -LGD Manual* PD	Scientific Atlanta Line Extender II Manual PD	Scientific Atlanta System II - BT Manual* PD	
Tecnologia		1310 nm							
CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	69,06	59,23	69,86	66,15	63,60	71,16	
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	76,48	76,12	65,96	59,60	68,28	72,88	
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	75,30	81,10	69,20	63,20	74,40	74,35	
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	69,70	72,25	65,51	63,67	67,53	68,55	
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(CN/10)		7,94E-06	1,24E-07	1,19E-06	1,03E-07	2,43E-07	4,37E-07	7,66E-08	
CTBI: 10*(CTB/20)		5,62E-04	1,50E-04	1,56E-04	5,04E-04	1,05E-03	3,85E-04	2,27E-04	
XMI: 10*(XM/20)		5,62E-04	1,72E-04	8,81E-05	3,47E-04	6,92E-04	1,91E-04	1,92E-04	
CSOI: 10*(CSO/15)		1,00E-04	2,26E-05	1,52E-05	4,29E-05	5,69E-05	3,15E-05	2,69E-05	
HUMI: 10*(HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE									
CNI=10*log(SUM(CNI))	dB	49,95	dB	45,00	dB	43,00			
CTBI=20*log(SUM(CTBI))	dB	50,37	dB	53,00	dB	51,00			
XMI=20*log(SUM(XMI))	dB	52,98	dB	53,00	dB	51,00			
CSOI=15*log(SUM(CSOI))	dB	52,93	dB	53,00	dB	51,00			
HMT=20*log(SUM(HMI))	dB	48,92	dB						
HUM%=10*(HMT/20)*100%	%	0,36	%	3,00	%	3,00			



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Implementados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CATÁLOGO DE ESPECIFICAÇÕES -- PAGINA 1

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	Line Extender II	System II - LGD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD
Largura de Banda Passante da Rede (BW)	MHz	750	750	550	550	550	550	550
Resposta em Frequência (planicidade) +/-	dB	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ganho Mínimo	dB		36	32,5	28,1	28,1	32,1	32,5
Controle de Ganho (variação)	dB		NA	+4	+4	+4	+3 / -5	+4
Controle de Inclinação (variação) +/- [@ frequência]	dB		Plug-In EQ	4	4	4	+3 / -5	4
Perda de Retorno ( Reflexão) (min)	dB	NA	14	16	16	16	16	16
DISTORÇÕES (@ níveis fabricante)								
Nível de Saída: Canal Alto ( ch78 )	dBmV	16,0	43,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
Canal Baixo ( ch02 )	dBmV	16,0	36,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
Carregamento de Canais	NTSC	78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB		36,0	32,5	28,1	28,1	32,1	32,5
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,0	71,0	64,2	62,6	62,6	62,0	64,2
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,0	70,0	67,5	65,3	65,3	68,6	67,5
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,0	67,0	65,9	63,7	63,7	64,5	65,9
Figura de Ruído	dB		6,5	7,3	7,5	7,5	9,6	7,3
Perda de Inserção do Equalizador*	dB		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Relação Portadora Ruído (C/N)**	dB	51,0	60,7	65,4	69,6	69,6	63,5	65,4
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,0	60,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Consumo de Corrente (máx)	A	0,16	1,45	0,49	0,61	0,61	0,4	0,49
Tensão de Operação (máx)	V	60,0	60,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
* Para o cálculo da relação portadora ruído C/N								
** Nível de Entrada RX = -3 dBm (< 2 mV)								

MODIFICAÇÕES DOS DADOS DE CATÁLOGO -- PAGINA 2

APLICAÇÃO	Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante		Texscan	Texscan	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta	Scientific Atlanta
Modelo		Flamethrower FM3P	Flamethrower - xFT-75-35-44-F	System II - LGD	System II - BT	System II - BT	Line Extender II	System II - LGD
Tecnologia do Equipamento		1310 nm	PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD
MODIFICAÇÕES DE PROJETO								
Carregamento de Canais no Sistema	dB	78	78	78	78	78	78	78
Ganho Operacional	dB	0	19	28	27	27	32	29
Nível de Saída: Canal Alto ( ch78 )	dBmV	16	35	38	38	44	44	44
Canal Baixo ( ch02 )	dBmV	16	26	31	31	37	37	37
Operação Ganho Diferencial na saída (TILT)	dB	0	9	7	7	7	7	7
Nível de Entrada @ frequência do canal alto	dBmV	0	16	10	11	17	12	15
Cascata		1	1	1	1	1	1	1
RESULTADO PARCIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	68,66	61,86	62,66	68,66	61,56	66,86
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	65,00	88,60	78,60	77,00	68,20	67,60	69,80
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	65,00	87,00	82,50	80,30	70,30	73,60	72,50
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,00	75,66	73,24	71,04	66,36	67,16	68,56
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Multiplicador p/ CSO		15						
RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE								
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB		49,87					
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB		54,03					
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB		56,31					
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB		54,34					
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%		0,36					



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

Planilha de Cálculo dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
DESENVOLVIMENTO: Ramo II - Níveis de Sinais Implementados  
AUTOR: Vicente Mazzolla Moraes  
SUMÁRIO: Catálogo de Especificações .....Página 1  
Modificações dos Dados de Catálogo.....Página 2  
Cálculo dos Parâmetros de Qualidade.....Página 3-4

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 1 - PAGINA 3

CÁLCULO DO RUÍDO TÉRMICO																			
Boltzmann's const: k	J/K	1,38E-23		EQUIVALENTE															
Temperatura, T	K	293,15		TEMPERATURA		20		C											
Largura de banda do sinal, B	MHz	4,00																	
Impedância Característica, R	Ohms	75,00																	
Tensão do Ruído Térmico	uV	2,20																	
Potência do Ruído Térmico, NT	dBmV	-59,16																	
APLICAÇÃO		Unidade	ENLACE ÓPTICO NODE	AMPLIFICADOR NODE - RF	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR TRONCAL	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO	AMPLIFICADOR DISTRIBUIÇÃO
Fabricante			Texscan Flamethrower	Texscan Flamethrower -	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - BT	Scientific Atlanta System II - BT	Scientific Atlanta Line Extender II	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD	Scientific Atlanta System II - LGD
Modelo			FM3P	xFT-75-35-44-F	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD	Manual PD
Tecnologia do Equipamento			1310 nm	PD															
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS																			
Figura de Ruído: NF	dB		0,00	6,50	7,30	7,50	7,50	9,60	7,30										
Perda de Injeção EQ: L	dB		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
Ruído Térmico: NT	dB		-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16	-59,16										
Nível de Saída: O	dBmV		16,00	35,00	38,00	38,00	44,00	44,00	44,00										
Ganho: G	dB		0,00	19,00	28,00	27,00	27,00	32,00	29,00										
Nível de Entrada: I = (O-G)	dBmV		0,00	16,00	10,00	11,00	17,00	12,00	15,00										
C/N = NT+I(NF+L)	dB		51,00	68,66	61,86	62,66	68,66	61,56	66,86										
CÁLCULO INDIVIDUAL DOS EQUIPAMENTOS																			
Fabricante CTB: CTB0	dB		65,00	71,00	64,20	62,60	62,60	62,00	64,20										
Fabricante XM: XM0	dB		65,00	70,00	67,50	65,30	65,30	68,60	67,50										
Fabricante CSO: CSO0	dB		60,00	67,00	65,90	63,70	63,70	64,50	65,90										
Carregamento de Canais (máx): CR			78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00										
Carregamento de Canais no Sistema: CA			78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00										
Fabricante Nível de Saída: OR	dBmV		16,00	43,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00										
Nível de Saída Atual: OA	dBmV		16,00	35,00	38,00	38,00	44,00	44,00	44,00										
Modificação do Carregamento: LC	dB		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
= 20*log((CA-I)/(CR-I))																			
Modificação do Nível de Saída: OC	dB		0,00	-8,00	-8,00	-8,00	-2,00	-2,00	-2,00										
= (OA-OR)																			
Fabricante Ganho Diferencial (TILT): TR	dB		0,00	7,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00										
Operação do Ganho Diferencial (TILT): TO	dB		0,00	9,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00										
Modificação do Ganho Diferencial (TILT): TC	dB		0,00	2,00	-2,00	-2,00	2,00	2,00	2,00										
= (TO-TR) ou (TR-TO)																			
Novo Valor CTB: CTB1	dB		65,00	88,60	78,60	77,00	68,20	67,60	69,80										
= CTB0-2*(OC)+LC+0,8*TC																			
Novo Valor XM: XM1	dB		65,00	87,00	82,50	80,30	70,30	73,60	72,50										
= XM0-2*(OC)+LC+0,5*TC																			
Novo Valor CSO: CSO1	dB		60,00	75,66	73,24	71,04	66,36	67,16	68,56										
= CSO0-OC+LC+0,33*TC																			
Fabricante HUM: HUM0	dB		60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00										

CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE, PART 2 - PAGINA 4

CÁLCULO PARA N EQUIPAMENTOS SIMILARES									
Cascata: N		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
log(N)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CN = CN0-10*log(N)	dB	51,00	68,66	61,86	62,66	68,66	61,56	66,86	
CTB = CTB1-20*log(N)	dB	65,00	88,60	78,60	77,00	68,20	67,60	69,80	
XM = XM1-20*log(N)	dB	65,00	87,00	82,50	80,30	70,30	73,60	72,50	
Multip. p/ CSO: (M)	15								
CSO = CSO1-M*log(N)	dB	60,00	75,66	73,24	71,04	66,36	67,16	68,56	
HUM = HUM0-20*log(N)	dB	60,00	60,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	
CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS: CONVERSÃO ANTES DO SOMATÓRIO									
CNI: 10*(CN/10)		7,94E-06	1,36E-07	6,52E-07	5,42E-07	1,36E-07	6,99E-07	2,06E-07	
CTBI: 10*(CTB/20)		5,62E-04	3,72E-05	1,17E-04	1,41E-04	3,89E-04	4,17E-04	3,24E-04	
XMI: 10*(XM/20)		5,62E-04	4,47E-05	7,50E-05	9,66E-05	3,05E-04	2,09E-04	2,37E-04	
CSOI: 10*(CSO/15)		1,00E-04	9,04E-06	1,31E-05	1,84E-05	3,77E-05	3,33E-05	2,69E-05	
HUMI: 10*(HUM/20)		1,00E-03	1,00E-03	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	3,16E-04	

RESULTADO FINAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE				PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO ANATEL		PARÂMETROS DE QUALIDADE REGULAMENTAÇÃO FCC	
CNI=10*log(SUM(CNI))	dB	49,87		dB	45,00	dB	43,00
CTBI=20*log(SUM(CTBI))	dB	54,03		dB	53,00	dB	51,00
XMI=20*log(SUM(XMI))	dB	56,31		dB	53,00	dB	51,00
CSOI=15*log(SUM(CSOI))	dB	54,34		dB	53,00	dB	51,00
HMT=20*log(SUM(HMI))	dB	48,92		dB		dB	
HUM%=10*(HMT/20)*100%	%	0,36		%	3,00	%	3,00

OBSERVAÇÃO: Amplificadores que não são utilizados (ex. cascata de 0) não serão combinados.  
Na programação, são fixados os valores utilizados no cálculo intermediário para zero.

## **APÊNDICE II**



**Medições dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC**

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
 CONDIÇÃO: Parâmetros Técnicos de Qualidade dos Canais Analógico  
 AUTOR: Vicente Mazzolla Morais

**MEDIÇÕES RAMO I**

	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
<b>Níveis de Sinais Projetados</b>							
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,91	50,87	50,73		
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	64,44	63,63	57,89	55,53		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	64,34	63,74	59,40	58,01		
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,44	58,84	56,94	55,77		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29		
<b>Níveis de Sinais Existentes</b>							
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,88	50,76	50,68		
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	62,95	61,53	54,38	53,06		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	62,68	61,71	53,64	52,80		
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	58,67	57,82	53,56	52,87		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29		
<b>Níveis de Sinais Existentes (med)</b>							
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	50,75	50,50	50,45		
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	63,40	62,10	55,70	54,10		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB						
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,10	58,20	54,50	53,50		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,10	0,10	0,10	0,10		
<b>Níveis de Sinais Implementado (proj.)</b>							
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,64	50,54	50,21		
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	64,44	62,61	59,46	56,59		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	64,34	63,05	60,53	58,79		
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,44	58,42	57,18	55,90		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29		
<b>Níveis de Sinais Implementado (med.)</b>							
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	50,45	50,25	49,80		
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	62,80	62,61	60,50	57,50		
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB						
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,60	59,50	57,90	56,60		
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,30	0,40	0,50	0,30		



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

**Medições dos Parâmetros de Qualidade da Rede - HFC**

NOME CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NOME PROJETO: PROJETO DE REDE CATV - Node IBIS  
CONDIÇÃO: Parâmetros Técnicos de Qualidade dos Canais Analógico  
AUTOR: Vicente Mazzolla Morais

**MEDIÇÕES RAMO II**

Níveis de Sinais Projetados	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,62	50,61	50,59	50,46	50,39
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	64,44	63,76	63,01	56,78	54,67	53,33
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	64,34	63,87	63,30	58,22	57,00	55,79
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,44	59,00	58,44	56,04	55,01	54,28
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36
Níveis de Sinais Existentes	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,33	50,28	50,17	49,98	49,95
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	62,95	61,22	57,25	52,33	51,04	50,37
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	62,68	61,70	58,64	54,61	53,76	52,98
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	58,67	57,91	56,14	54,36	53,55	52,93
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36
Níveis de Sinais Existentes (med)	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	50,25	49,95	49,85	49,65	49,65
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	63,40	61,67	58,20	54,60	53,70	52,20
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB						
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,10	58,34	57,20	55,20	54,30	53,70
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Níveis de Sinais Implementado (proj.)	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	50,93	50,59	50,33	50,26	49,95	49,87
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	64,44	62,89	61,33	58,08	55,58	54,03
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB	64,34	63,32	62,17	59,30	57,77	56,31
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	59,44	58,70	57,78	56,24	55,12	54,34
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36
Níveis de Sinais Implementado (med.)	Unidade	1º Ativo	2º Ativo	3º Ativo	4º Ativo	5º Ativo	6º Ativo
Relação Portadora Ruído (C/N)	dB	51,00	50,35	50,15	50,00	49,65	49,50
Batimento de 3ª Ordem (CTB)	dB	62,80	61,90	61,20	58,90	56,40	55,00
Modulação Cruzada (X-MOD)	dB						
Batimento de 2ª Ordem (CSO)	dB	60,60	59,86	58,40	57,10	55,90	54,90
Distúrbios de Baixa Frequência (HUM)	%	0,30	0,40	0,30	0,50	0,40	0,40



## **APÊNDICE III**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

Detecção do Nível de Radiação do Sinal - Rede HFC

RAMO 4 RAMO 3 RAMO 2 RAMO 1 KM 7,716 instalada  
KM 7,716 vistoriada

59

DATA (Identif.)	NODE	MEDIDOR	FUGA Existente (uV/m)	I <sub>3000</sub>	I <sub>00</sub>	FUGA Deixada (uV/m)	I <sub>3000</sub>	I <sub>00</sub>	CAUSA	PROBLEMA	LOG	ENDEREÇO	Nº
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	1500	0,25000	2250000,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Externa	Passivo	RUA	ALVORADA	735
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	200	0,00444	40000,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	1102
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	150	0,00250	22500,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	TEXAS	1021
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	110	0,00134	12100,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	DR CARDOSO DE MELO	1100
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	100	0,00111	10000,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	1132
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	100	0,00111	10000,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	GUARAIUVA	1655
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	97	0,00105	9409,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	505
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	97	0,00105	9409,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	487
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	95	0,00100	9025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	SANTA VERÔNICA	171
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	93	0,00096	8649,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	BREJO ALEGRE	399
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	90	0,00090	8100,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	SANTA VERÔNICA	96
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	80	0,00071	6400,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	TEXAS	1102
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	80	0,00071	6400,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	TEXAS	802
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	80	0,00071	6400,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	CAPANEMA	156
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	75	0,00062	5625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	292
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	75	0,00062	5625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	TEXAS	948
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	70	0,00054	4900,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	GUARAIUVA	1661
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	70	0,00054	4900,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	LOURENÇO DE MARQUES	282
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	70	0,00054	4900,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	438
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	63	0,00044	3969,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1266
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	55	0,00034	3025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	1083
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	55	0,00034	3025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	CAÇÃO	49A
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	55	0,00034	3025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	Avenida	Bandeirantes	1138
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	54	0,00032	2916,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	SANTA VERÔNICA	167
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	52	0,00030	2704,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	872
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	52	0,00030	2704,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	1071
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	51	0,00029	2601,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	880
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	50	0,00028	2500,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	CAÇÃO	51
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	50	0,00028	2500,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	ALVORADA	860
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	50	0,00028	2500,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	TEXAS	1182
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	48	0,00026	2304,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	881
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	45	0,00022	2025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1277
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	45	0,00022	2025,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BUGIO	36
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	44	0,00022	1936,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	SANTA VERÔNICA	158
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	43	0,00021	1849,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1168
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	40	0,00018	1600,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Externa	Passivo	RUA	CARMONTELLE	1A
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	36	0,00014	1296,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1090
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	35	0,00014	1225,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	GOMES DE CARVALHO	1295
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	31	0,00011	961,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	1100
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	30	0,00010	900,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	CONCEIÇÃO DE MONTE ALEGRE	1681
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	30	0,00010	900,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	533
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	DR CARDOSO DE MELO	1032
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	SANTA VERÔNICA	157
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	250
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	BREJO ALEGRE	296
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	CAÇÃO	52
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	TEXAS	1132
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	CAPANEMA	271
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	25	0,00007	625,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Conectores	RUA	LOURENÇO DE MARQUES	180
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	24	0,00006	576,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1306
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	23	0,00006	529,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	SANTA VERÔNICA	77A
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	23	0,00006	529,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	CONCEIÇÃO DE MONTE ALEGRE	1418
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	22	0,00005	484,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Externa	Passivo	RUA	CASA DO ATOR	1065
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	21	0,00005	441,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	TEXAS	861
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	20	0,00004	400,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	RUA	CONCEIÇÃO DE MONTE ALEGRE	1675
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	20	0,00004	400,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Clandestino	Avenida	Bandeirantes	665
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	15	0,00002	225,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	Fuga/Ingresso	RUA	GOMES DE CARVALHO	1335
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	15	0,00002	225,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Interna	clandestino	RUA	CAPANEMA	141
13/jan/05	IBI S	CLI-1450	15	0,00002	225,00	10,00	0,00001	100,00	Rede Externa	Conectores	RUA	DR CARDOSO DE MELO	1250

Total	-15,71	53,84
Padrão	< -7	< 64

-32	38
-----	----